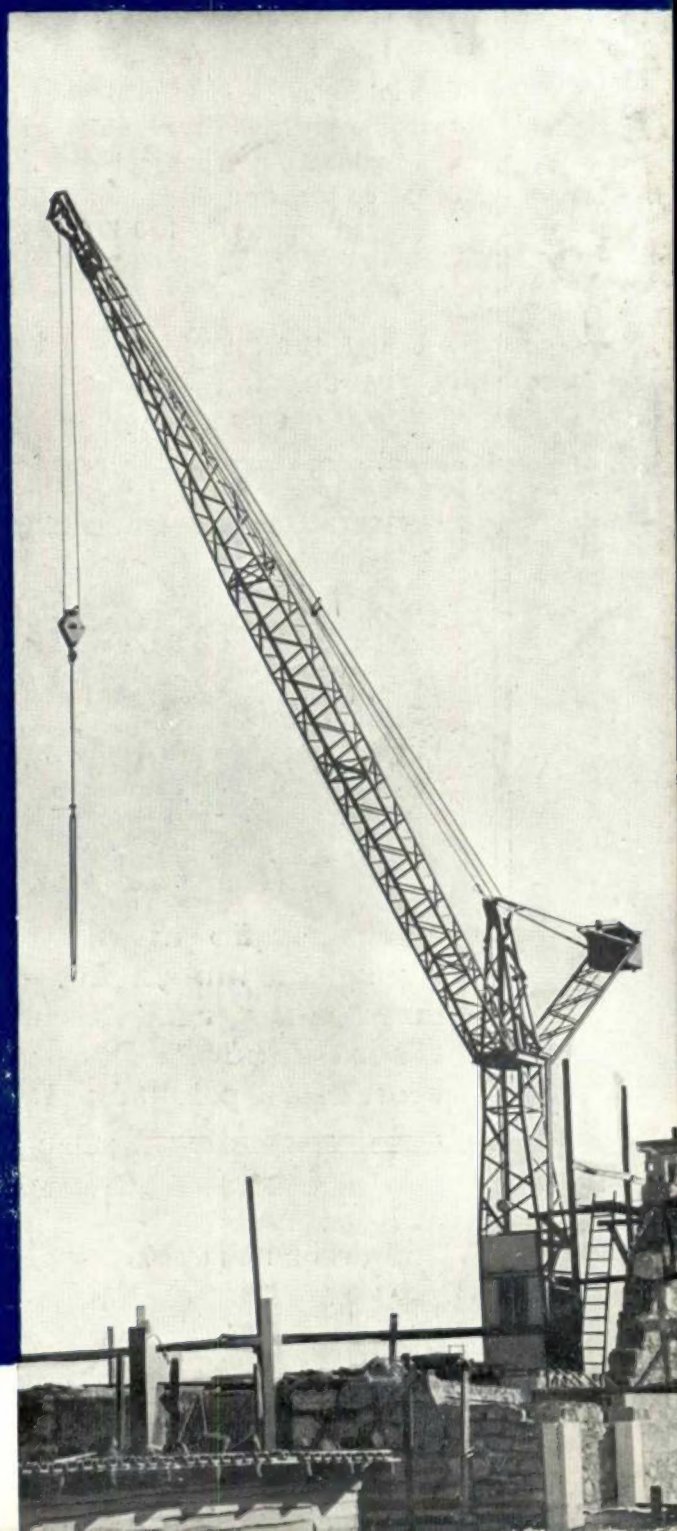
TÉCNICA



REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 173 - Abril - 1947

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMÉRCIO, 56, 3.º
LISBOA

SOCIEDADE INDUSTRIAL METALURGICA

Responsabilidade Limitada
(REGISTADO)

SERRALHARIAS,
CALDEIRARIA,
FERRARIA,
FUNDIÇÕES

ESCRITÓRIO
Rua de S. Tiago, 13
LISBOA
Telefone 26572

CIMENTO TEJO

FÁBRICA EM ALHANDRA

A instalação mais moderna do País. Dois fornos rotativos em laboração. — O "CIMENTO TEJO" marca pelas suas altas resistências e regularidade, garantidas pela fiscalização contínua de todas as fases do fabrico, exercida por técnicos portugueses especializados.

Pedidos à Companhia "CIMENTO TEJO"

SEDE EM LISBOA
RUA DA VITÓRIA, 88, 2.º

FILIAL NO NORTE
AV. DOS ALIADOS, 20, 3.º
PORTO

NÚMERO
173
Abril—1947

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N. / TEL. 70144 (linha 50)

DIRECTOR
FERNANDO MANZANARES ABECASIS

ADMINISTRADOR
FERNANDO JÁCOME DE CASTRO

BIBLIOTECÁRIO
JOSÉ TELES

SECRETÁRIO
HENRIQUE ESTÁCIO MARQUES

REDACTOR
JOSÉ QUINTINO ROGADO

NÚMERO AVULSO 7$50

ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	21$00	40$00	75$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	45$00	80$00

EDITOR E PROPRIETARIO
ASS. DOS ESTUD. DO I. S. T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.DA
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Grua da Sociedade A. Ramalheira, em serviço na construção do novo liceu D. João de Castro

		Págs.
Notas histórico-pedagógicas sobre o Instituto Superior Técnico	Por Alfredo Bensaude	301
Transporte de líquidos	Eng.º Luís A. de Almeida Alves	305
Les applications de la mecanique des sols a l'etude des fondations	A. Mayer	332
Mutador em rádio-emissão	Por Fernando Franco Feijóo	347
Mundo Técnico		359
Biblioteca		361

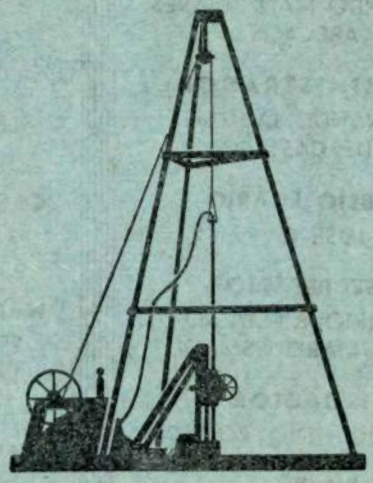
OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

Sondages. Etanchements. Consolidations "Procédés Ródio"

Sondagens geológicas
Estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geofísico
Consolidação e impermeabilização de terrenos e alvenarias por meio de injecções de cimento, produtos químicos, emulsão betuminosa Shellperm, etc.
Estacas de beton armado, sistema **Ródio** sem fazer trepidar o solo
Rebocos comprimidos por «cement gun»
Fundações em terrenos difíceis por congelação artificial, ou baixando o nível da água friática.

Sociedade Anónima com séde em PARIS

As melhores referências no país e no estrangeiro



Engenheiro delegado para Portugal

Walter Weyermann

P. do Município, 32-2.º—LISBOA Tel. 2 8685

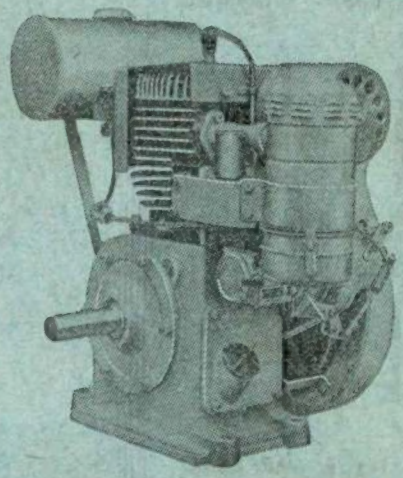
CARROS INDUSTRIAIS

MOTORES MARÍTIMOS — **Douglas** — GRUPOS GERADORES

MOTORES INDUSTRIAIS A GASOLINA E GASOLINA/PETRÓLEO

Série 1 cilindro

B.H.P.	R.P.M.
2 1/2	1800
4 1/2-5	1800
6	1800
7	1800



Em Armazém para entrega imediata

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS PARA PORTUGAL

H. M. F. HATHERLY, L.DA—Rua do Comércio, 8—Tel. 22001

TÉCNICA
FERNANDO MANZANARES ABECASIS
DIRECTOR

ANO XXII - N.º 173 ABRIL 1947

NOTAS HISTÓRICO-PEDAGÓGICAS SOBRE O INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

POR ALFREDO BENSAUDE

Organizador do mesmo Instituto e seu Director desde 1911 a 1920

(Continuação)

C. D. 37

TRABALHOS NAS OFICINAS

Na organização do Instituto, atribui-se um papel importante aos trabalhos oficinais; por eles adquire o aluno uma parte essencial da sua instrução técnica, aprendendo a conhecer e a manusear as principais ferramentas com que se trabalha a madeira e os metais, desenvolvendo as faculdades de observação e adquirindo o sentimento das coisas técnicas; são eles um complemento importante dos trabalhos de laboratório e promovem, além disso, o vigor físico, exercendo ao mesmo tempo nos rapazes uma salutar influência educativa.

Ao iniciar esses trabalhos no primeiro ano de existência do Instituto, era manifesta a má vontade de muitos alunos. Essa atitude provinha do preconceito, não raro entre os primeiros alunos, de que uma pessoa de *qualidade* se rebaixa, trabalhando manualmente ao lado de operários, e também das dificuldades reais da tarefa para a qual não recebem geralmente a menor iniciação.

No entanto, mesmo nesse ano, muitos dos que a princípio iam contrafeitos às sessões de trabalho manual começaram a interessar-se por ele, vencidas que foram as primeiras dificuldades. Hoje são as oficinas frequentadas com regularidade, envergando os alunos a blusa de operário ao lado de artífices profissionais. À medida que a sua perícia se desenvolve vai surgindo naturalmente no seu espírito o sentimento de respeito que devemos à oficina, origem do enorme progresso material que caracteriza a civilização contemporânea. Não é raro encontrá-los, fora das horas regulamentares, confeccionando um ou outro objecto para seu uso pessoal, quando tais trabalhos não colidem com a boa marcha das oficinas.

Não obstante a facilidade com que os alunos se habituaram às sessões de trabalho manual, tem sido este um dos serviços mais difíceis de organizar convenientemente, não podendo ainda hoje considerar-se completamente resolvido tal problema.

Nas oficinas pedagógicas deve dominar o espírito de ordem e de economia indispensável nos estabelecimentos da indústria, onde a desordem conduz à desmoralização e à ruína. Mas não é fácil estabelecer a boa ordem e a economia em oficinas pertencentes ao Estado ou a qualquer estabelecimento público, porque não é essa geralmente a tradição. O preço da mão de obra costuma ser elevadíssimo e o trabalho produzido às vezes apenas o pretexto para que o operário receba o seu salário. Os operários desmoralizam-se e a oficina transforma-se insensìvelmente num asilo de beneficência disfarçado.

Os industriais conhecem tão bem tudo isto, que se recusam admitir, geralmente, operários com longa permanência em oficinas do Estado.

Ora o Instituto Superior Técnico herdou do antigo Instituto Industrial e Comercial o pessoal das oficinas, que teve de ser substituído, quase inteiramente, por pessoal jornaleiro, sujeito a ser substituído quando deixe de satisfazer.

Conseguiu-se, em parte, baratear a mão de obra, estabelecendo-se condições que se aproximavam (antes da guerra) das normais nas oficinas particulares.

Uma dificuldade maior ainda foi encontrar no nosso meio pessoas peritas em trabalhos manuais, que ao mesmo tempo possuam o tino pedagógico para dirigir rapazes, cuja instrução se não pode fazer pelos processos ordinários da aprendizagem de artífices. Para o aprendiz de serralheiro aprender a limar razoàvelmente, por exemplo, são necessários vários anos de tirocínio, ao passo que o aluno do Instituto, cuja instrução científica absorve o melhor do seu tempo e das suas forças, tem de aprender, durante dois ou três anos, em algumas horas por semana, não só a limar, mas ainda as outras manipulações importantes dos trabalhos em madeira e em metal, não podendo, em tão curto prazo, adquirir em nenhuma delas a perícia dum artífice perfeito.

O Instituto tem de limitar-se a ensinar a distinguir os bons dos maus métodos de trabalho, a fornecer noções práticas sobre direcção de oficinas e dotar o aluno, pelo contacto da realidade, com a intuição das coisas profissionais.

A necessidade de experimentar a capacidade dos alunos por tentativas sucessivas explica o não se poder ainda aceitar como definitivo o modo como se tem ensinado os trabalhos de oficina, sobretudo no que respeita a serralharia.

Na carpintaria foi mais fácil achar uma fórmula, talvez definitiva, que se aplica há seis anos com resultado bastante satisfatório. Na respectiva oficina estão instaladas várias máquinas, como plainas e serras mecânicas, máquinas de moldar, etc. Aos alunos não é permitido trabalhar com elas por serem perigosas para os inexperientes; tomam conhecimento do seu emprego, vendo trabalhar operários peritos. Todo o aluno do primeiro ano do curso geral é, porém, obrigado a construir, com ferramentas manuais, uma prancheta de desenho e o respectivo suporte, por meio do qual se lhe pode alterar a posição em altura e inclinação. Estas pranchetas são as que se usam no Instituto para o ensino do desenho, quase todas fabricadas pelos alunos. Cada prancheta é feita de várias tábuas de casquinha, encastradas nos topos, em tiras de faia; pela parte inferior, encontram-se embebidas duas réguas de faia para evitar o empeno.

O suporte ou cavalete é formado por tiras de *pitchpine,* articuladas pelas competentes ferragens.

Quando os alunos que as construíram não queiram adquiri-las por um preço levemente superior ao do custo, servem estas pranchetas para substituir as que anualmente se estragam nas salas de desenho. As restantes, em muito maior número, têm sido vendidas a escritórios técnicos ou a outras escolas de Lisboa. A construção da prancheta parece satisfazer cabalmente às necessidades do ensino.

O objecto é bastante complicado para exigir do aluno um esforço sério, e não é tão difícil de construir que a tarefa o desanime e desmoralize. Tem ainda uma qualidade importante: a da sua utilidade, que é um elemento absolutamente indispensável, quando se trata da aprendizagem manual de rapazes cultos. A experiência tem mostrado que,

quando a pretexto de ensinar aos alunos, umas após outras, as diferentes manipulações, estes são levados a produzir objectos que para nada servem, cessa o interesse pelos trabalhos manuais; e as sessões nas oficinas transformam-se em horas de aborrecimento ou de brincadeira.

O sistema empregado na serralharia, depois de várias tentativas, é actualmente o seguinte: o seu dirigente, um hábil engenheiro mecânico e, ao mesmo tempo, um excelente serralheiro, prepara desenhos de oficina com o conjunto e os detalhes de uma máquina-ferramenta, como um pequeno limador mecânico, um torno de marcha, etc. Nesses desenhos, em escala natural, encontram-se representadas peças pequenas, cuja fabricação está ao alcance dos alunos, e outras, mais complicadas, que só artífices hábeis podem construir. Logo que os alunos se orientem, o mais ràpidamente possível, sobre os processos gerais do trabalho de forja, de lima e de torno, pela construção de compassos de serralheiro, esquadros, martelos, etc., distribui-se a cada um deles a tarefa de fabricar algumas das peças mais simples da máquina-ferramenta que se vai construir durante o ano lectivo.

Os que as não fazem suficientemente perfeitas à primeira tentativa repetem-na até o conseguir.

Os operários da oficina: um torneiro, um serralheiro, um forjador e dois aprendizes, vão, nesse meio tempo, fabricando as peças mais complexas; e a máquina, que fica pertencendo à oficina ou se vende quando não seja necessária, monta-se ao terminar o ano lectivo, de forma que os alunos se convencem de modo incontestável da utilidade dos seus esforços, ficando a conhecer em todas as suas minúcias uma máquina em cuja fabricação colaboraram.

Sòmente os alunos engenheiros mecânicos têm sido obrigados a dois anos de frequência da oficina de serralharia, construindo no segundo ano peças de ferramenta manual, como graminhos, pequenos engenhos de furar, etc.; desde o ano lectivo de 1919-1920 têm porém mais um ano de tirocínio. Alguns destes rapazes adquiriram surpreendente habilidade manual em trabalhos de serralharia, construindo, fora do programa, objectos muito mais complicados, como, por exemplo, o grupo electrogéneo que figurou na última exposição escolar, projectado e executado por dois alunos, um de máquinas, outro de electrotecnia.

A organização do ensino manual importaria em despesa avultada, se tivesse funcionado desde o primeiro ano de um modo perfeito. A falta de meios obrigou o Instituto a iniciar não só este, mas todos os seus serviços, muito modestamente.

O pessoal operário das oficinas só em determinadas horas está ocupado com a instrução dos alunos. Fora desse tempo, e nas férias escolares, trabalha para produzir objectos vendáveis. Deste modo se procurou que as oficinas produzissem uma receita pelo menos igual à sua despesa, compreendendo nesta a aquisição de matérias primas, ferramentas manuais, etc. Mas esta aspiração raras vezes se realizou. Quando por acaso a receita excedia a despesa, o saldo era aplicado à instalação de novas secções.

O ensino manual não é ainda tão completo como deveria sê-lo, embora exceda muito o que neste sentido se tem feito no país e até em algumas escolas estrangeiras, para instruir alunos engenheiros. A despeito das deficiências, a sua utilidade é incontestável; é, em grande parte, devido a êle que vários alunos, ao sair do Instituto, puderam imediatamente tomar a direcção de algumas das nossas oficinas metalúrgicas.

Mas, não obstante os seus bons resultados, é mais que possível, é quase provável que, em vista da carestia das matérias primas e da enorme elevação dos salários, o ensino manual tenha de ser muito reduzido ou até eliminado, se o orçamento do Instituto não for convenientemente aumentado.

Em várias ocasiões se tem manifestado de modo flagrante a utilidade do nosso ensino oficinal, sendo o exemplo melhor a acção de alguns alunos por ocasião da greve dos operários da Companhia Carris de Ferro de Lisboa em 1917.

Um grupo de rapazes do curso geral, dos cursos especiais de máquinas e de engenharia civil, entraram logo para o serviço da Companhia como condutores, guarda-freios, encarregados da limpeza e das pequenas reparações de que necessitam geralmente os carros ao recolher do serviço. Outros, os do curso de máquinas principalmente, passaram a primeira noite reparando as avarias dos numerosos carros danificados pelos grevistas, conseguindo pôr em circulação todos os necessários para restabelecer os serviços de viação na manhã seguinte. Eis os nomes dalguns desses rapazes de que me foi possível tomar nota e que então eram alunos do Instituto:

Alfredo Ripamonte Dantas, falecido, era engenheiro de máquinas da Companhia União Metalúrgica; João Carlos Adrião de Sequeira, Augusto Rebelo de Andrade, Francisco Mendia, todos três actualmente na mesma Companhia, o primeiro como seu director técnico.

Augusto Cancela de Abreu, sócio dum escritório técnico em Lisboa.

Boaventura de Almeida Belo, engenheiro civil ao serviço da casa C. Santos, Limitada, de Lisboa, etc., etc.

A greve terminou logo no terceiro ou quarto dia porque o pessoal da Companhia reconheceu que os seus serviços não eram indispensáveis. A direcção da Companhia Carris de Ferro mandou agradecer ao Instituto, por nosso intermédio, os bons serviços prestados pelos seus alunos nesta conjuntura.

* * *

O tirocínio prático não se limita porém à frequência de laboratórios e oficinas; pelo contrário, prepara os alunos para tirarem o melhor partido das missões de verão. Todo o aluno é obrigado, desde o primeiro ano da especialidade, a tirocinar pelo menos um mês, nas férias grandes, em um estabelecimento técnico, recomendado pela comissão pedagógica do seu curso.

Durante a permanência na escola, os alunos visitam tudo quanto no país é digno de ver-se e se relaciona com as suas especialidades, acompanhados por professores ou assistentes. Em alguns casos empreenderam excursões ou tirocínios demorados para além das nossas fronteiras; alguns fizeram viagens de estudo a Espanha; um visitou os Estados Unidos e outro a Alemanha.

Terminado o tirocínio, o aluno apresenta ao Instituto um relatório em que descreve o resultado do seu estudo.

As excursões para longe de Lisboa pesariam excessivamente sobre o orçamento da escola, que paga os transportes e às vezes subsídios aos alunos pobres com bom aproveitamento, sem a disposição que, para essa despesa, cria uma receita. Todos os alunos têm de prestar durante o ano várias provas em cada cadeira; a falta a uma dessas provas importa a perda de ano, excepto se o aluno, que deixou de apresentar-se, se habilita para exame extraordinário, que se lhe faculta uma única vez para cada uma das faltas aos exames ordinários. A habilitação consiste em comprar na secretaria uma senha, em face da qual o professor o examina extraordinàriamente. A senha de exame extraordinário custa 2$50; e a verba que, por este meio, se acumula tem equilibrado mais ou menos as despesas de tirocínios e excursões dos alunos com bom aproveitamento. Como é natural, a maioria dos que faltam aos exames ordinários são os menos aplicados; resulta pois da combinação serem os negligentes que, indirectamente, pagam, ou ajudam a pagar, as viagens de instrução e os tirocínios dos seus colegas mais estudiosos.

Esta disposição tem também a grande vantagem de tornar inútil o atestado médico para justificar faltas, às vezes origem de abusos.

(Continua)

TRANSPORTE DE LÍQUIDOS

PELO ENG.º QUÍMICO-INDUSTRIAL LUÍS A. DE ALMEIDA ALVES
Assistente do I. S. T.

(Conclusão)

C. D. 532

II PARTE

MOVIMENTO DE LÍQUIDOS UTILIZANDO UMA ENERGIA EXTERIOR

O problema do transporte de líquidos pode resolver-se aplicando quer os princípios da hidrostática quer da hidrodinâmica.

CAPÍTULO I

TRANSPORTE DE LÍQUIDOS UTILIZANDO OS PRINCÍPIOS DA HIDROSTÁTICA

Pode criar-se uma depressão na canalização de transporte, ou uma compressão sobre líquido.

a) *Transporte de líquidos por depressão*

É o caso das bombas de variação de volume, as quais podem ser de movimento alternativo ou rotativas.

1) *Bombas de movimento alternativo*

A — *Teoria*

A variação de volume consegue-se pelo movimento de um êmbolo conjugado com duas válvulas de retenção. Como se sabe, estas bombas classificam-se em aspirantes, prementes e aspirantes-prementes (fig. 38).

Sob o ponto de vista técnico, interessa conhecer a potência consumida no funcionamento da bomba e as dimensões desta.

I — *Potência consumida*

Sendo F a força total exercida e U a velocidade com que se desloca o seu ponto de aplicação, a potência N, será

$$N = \frac{F\,U}{75}\ (C.\ V.)$$

A força F é o produto da pressão total exercida sobre o êmbolo, pela superfície do êmbolo:

$$F = \mathscr{P}\,S$$

sendo $\mathscr{P}$ a diferença entre as pressões nas duas faces do êmbolo:

$$\mathscr{P} = p_1 - p_2$$

Portanto

$$N = \frac{(p_1 - p_2)\,S\,U}{75}$$

Mas, como se sabe,

$$S\,U = Q\ ,$$

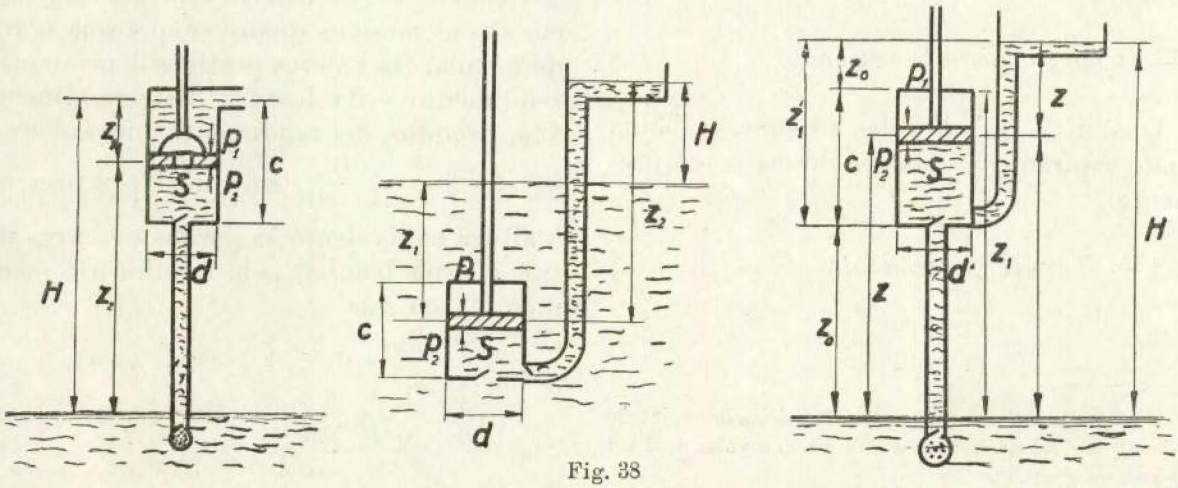


Fig. 38

logo

$$N = \frac{(p_1 - p_2)\,Q}{75}$$

Os valores de p_1 e p_2 variam com os tipos de bombas.

α — Bomba aspirante

O trabalho útil corresponde ao percurso ascendente do êmbolo.

Representando por p_a a pressão atmosférica, será (ver hidrostática)

$$p_1 = p_a + \gamma z_1$$
$$p_2 = p_a - \gamma z_2$$

Logo

$$p_1 - p_2 = \gamma (z_1 + z_2) = \gamma H$$

$$N = \frac{\gamma Q H}{75} \text{ (1)}$$

β — Bomba premente

O trabalho útil corresponde ao percurso descendente do êmbolo.

$$p_1 = p_a + \gamma z_1$$
$$p_2 = p_a + \gamma z_2$$
$$p_1 - p_2 = \gamma (z_2 - z_1) = \gamma H .$$

Portanto

$$N = \frac{\gamma Q H}{75} = \frac{Q p}{75},$$

sendo p a pressão a que o líquido é enviado.

γ — Bomba aspirante-premente

Quando o êmbolo sobe, a bomba trabalha como aspirante e quando desce, como premente.

1 — *Percurso ascendente*

$$p_2 = p_a - \gamma z$$
$$p_1 = p_a$$

Portanto

$$p_1 - p_2 = \gamma z$$

O trabalho total na ascenção será

$$\tau_1 = \int_{z_0}^{z_1} \gamma z S \, dz = \gamma S \left[\frac{z^2}{2} \right]_{z_0}^{z_1} =$$

$$= \frac{\gamma S}{2} (z_1^2 - z_0^2) =$$

$$= \frac{\gamma S}{2} (z_1 + z_0)(z_1 - z_0) = \frac{\gamma S (2 z_0 + c)\, c}{2}$$

2 — *Percurso descendente*

$$p_1 = p_a + \gamma z'$$
$$p_2 = p_a$$

e

$$p_1 - p_2 = \gamma z'$$

O trabalho total na descida será

$$\tau_2 = \int_{z'_0}^{z'_1} \gamma S z' \, dz' = \frac{\gamma S}{2} (z_1'^2 - z_0'^2) =$$

$$= \frac{\gamma S}{2} (z'_1 + z'_0)(z'_1 - z'_0) = \frac{\gamma S (2 z'_1 - c)\, c}{2}$$

O trabalho total será

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \frac{\gamma S}{2} (2 z'_1 + 2 z_0)\, c = \gamma S c H$$

Portanto, a potência será

$$N = \frac{\gamma S H U}{75} = \frac{\gamma Q H}{75}$$

Como se vê, os valores teóricos da potência são os mesmos qualquer que seja o tipo de bomba. Os valores práticos dependem do rendimento η da bomba. Este rendimento é o produto do rendimento hidráulico η_h (sendo $\eta_h = \frac{H}{H + Hp}$ em que Hp representa a altura equivalente às perdas de carga nos tubos e na bomba) pelo rendimento mecânico η_m, ou seja

$$\eta = \eta_h \times \eta_m$$

e, portanto,

$$N = \frac{\gamma Q H}{75\,\eta} = \frac{Q p}{75\,\eta} .$$

(1) Como se sabe a altura máxima teórica de aspiração é de 10m,33. Na prática, essa altura tem o valor de 5 a 6 metros, em geral.

Os valores de η variam entre 0,5 a 0,9, sendo os valores mais elevados correspondentes às bombas de maiores dimensões e a maiores alturas (ou, o que é o mesmo, a maiores pressões).

II — *Dimensões das bombas*

As dimensões variam conforme a bomba é de simples ou duplo efeito.

α — *Bombas de simples efeito*

O volume transportado por cada movimento completo é

$$v = \eta_v \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot c$$

em que η_v representa o rendimento volumétrico que é a relação entre o volume de líquido transportado e o volume do êmbolo.

Sendo n o número de rotações por minuto da manivela que aciona o êmbolo, o volume transportado por segundo será

$$Q = \eta_v \frac{\pi d^2}{4} \cdot c \cdot \frac{n}{60}$$

Mas

$$U = 2\,c \cdot \frac{n}{60} = \frac{c\,n}{30}$$

Portanto

$$Q = \frac{\pi \eta_v d^2 U}{8}$$

e

$$d = \sqrt{\frac{2{,}55\,Q}{\eta_v U}}$$

β — *Bombas de duplo efeito*

Neste caso

$$Q = \eta_v \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2c \cdot \frac{n}{60}$$

e

$$d = \sqrt{\frac{1{,}275\,Q}{\eta_v U}}$$

O valor de η_v varia entre 0,8 e 0,9 sendo tanto maior quanto mais perfeito for o estado de funcionamento da bomba.

O valor de U é variável como veremos.

B — *Prática*

I — *Tipos usuais*

As bombas geralmente usadas são de simples ou de duplo efeito (preferìvelmente de duplo efeito) e podem ter um, dois ou três êmbolos (simplex, duplex e triplex). Apresentam-se sob três formas principais:

α — *Bomba de êmbolo normal* (piston pump) (fig. 39) (1)

É uma bomba aspirante-premente de duplo efeito.

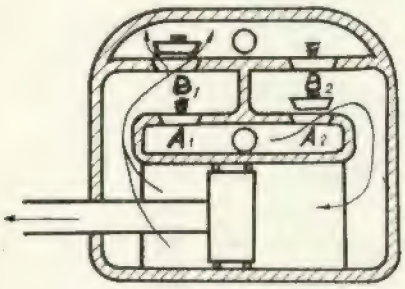


Fig. 39

As válvulas A_1 e A_2 são as de aspiração e B_1 e B_2 as de compressão.

Valores usuais para estas bombas:

$p \leqslant 18$ kg/cm² (equivalente a 250 pounds per square inch ou, abreviadamente, 250 psi)
$U = 20$ cm/seg a 45 cm/seg
$c = 15$ cm a 45 cm
$Q = 1$ litro/seg a 40 litros/seg

Em geral a velocidade U e o comprimento do êmbolo c são tanto maiores quanto maior é o caudal (2).

2 — *Bomba de êmbolo mergulhante* (plunger pump) (fig. 40)

Este tipo difere do anterior porque o êmbolo tem um comprimento igual ao do

(1) Voltamos a notar que os desenhos apresentados são esquemáticos.

(2) Para dados práticos sobre todos os tipos de bombas, ver, por exemplo, «Chemical Engineers'Handbook», de J. Perry e W. Calcott.

corpo de bomba e, por isso, os segmentos de vedação podem estar sobre o corpo de bomba em vez de estarem sobre o êmbolo.

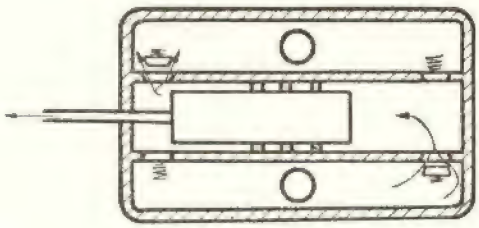


Fig. 40

É também aspirante — premente de duplo efeito e os valores usuais são os seguintes:

$p = 14$ kg/cm² a 200 kg/cm² (200 psi a 3000 psi) (¹)

$U = 25$ cm/seg a 35 cm/seg

$c = 5$ cm a 15 cm

$Q = 0{,}15$ litros/seg a 15 litros/seg.

3 — *Bomba de diafragma* (fig. 41)

É uma bomba aspirante de simples efeito em que a variação de volume se obtém por meio de um diafragma que, em geral, é de

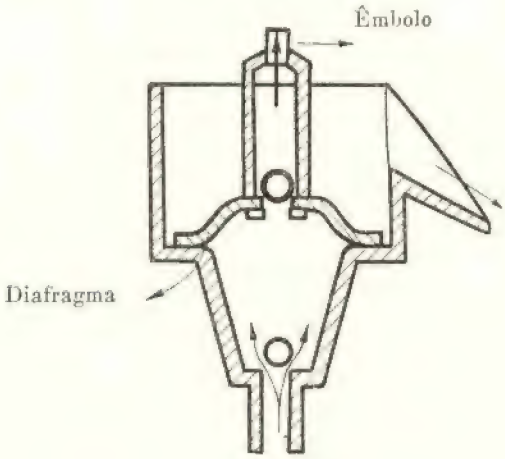


Fig. 41

borracha. Tem a vantagem de ter o êmbolo isolado do líquido, vantagem que, hoje, não tem grande importância devido à facilidade de obter ligas resistentes à corrosão.

(¹) Podem atingir 10.000 psi (700 kg/cm²).

Valores usuais:

$p \leqslant 7$ kg/cm² (100 psi)

$U = 25$ cm/seg a 30 cm/seg

$c = 9$ cm a 15 cm

$Q = 0{,}0025$ litros/seg a 1 litro/seg

A altura máxima de aspiração é de cerca de 5 m.

II — *Sistema motor*

O êmbolo pode ser accionado por um sistema de biela e manivela ou montado no eixo de um êmbolo de um cilindro a vapor e rìgidamente ligado a ele (fig. 42) (¹)

Fig. 42

No 1.º caso, a potência do motor calcula-se pela fórmula já indicada

$$N = \frac{Qp}{75\,\eta} \text{ (C. V.) } (^2)$$

No segundo caso, a potência calcula-se por esta fórmula mas é necessário determinar a secção do cilindro do vapor e o consumo de vapor.

O diâmetro do cilindro de vapor é em geral cerca de 1,5 vezes superior ao do cilindro da bomba a fim de compensar as perdas de energia mecânica e conseguir assim obter, na bomba, a mesma pressão do vapor.

O consumo de vapor C por cavalo-hora é dado, como se sabe, pela expressão

$$C = C_u + C_a + C_i \,,$$

em que C_u representa o consumo útil, C_a o consumo devido às perdas de vapor por

(¹) Neste caso é costume dar à bomba o nome de «burrinho» ou de Worthington (da casa construtora Worthington Pump and Machinery Corp. Harrisson W. I.).

(²) Se a bomba é manual, admite-se $N = 0{,}15$ CV.

arrefecimento e C_i o consumo devido à perda intersticial.

Como se sabe, também, o valor de C_u é dado em função de valores que se determinam no diagrama dinâmico do cilindro.

Como, em geral, não há possibilidade de ter esse diagrama podem tomar-se para C_u valores médios, aproximados, que variam entre 10 kg/CVH e 30 kg/CVH sendo os valores menores correspondentes às maiores potências e às maiores pressões.

O valor de C_a é dado pela expressão

$$C_a = \delta \frac{a}{\sqrt{U}}$$

sendo a = 7 para máquinas monocilíndricas e a = 4 para bicilíndricas, U a velocidade do êmbolo e δ um coeficiente que varia com $\frac{c}{D}$, como se mostra no quadro V.

QUADRO V

$\frac{c}{D}$ (1)	1,0	1,25	1,5	2,0	2,5	3
δ	0,82	0,77	0,91	1,0	1,08	1,15

O valor de C_i é dado pela expressão

$$C_i = \frac{8,8}{\sqrt{NU}} + \frac{1}{2\,U}, \quad (2)$$

em que U é a velocidade do êmbolo em metros por segundo e N a potência em C. V.

Se a máquina é bicilíndrica o valor de C_i é igual a 0,8 do valor achado.

2) *Bombas rotativas*

A variação de volume é obtida por elementos rotativos que podem mover-se em torno de um ou dois eixos. Em qualquer dos casos, a parte móvel tem de estar em contacto, em alguns dos seus pontos, com a parede da bomba e, por isso, estas bombas não se podem empregar para líquidos com partículas em suspensão; em geral, empregam-se para líquidos viscosos e, preferìvelmente, com propriedades lubrificantes (óleos vegetais, ácidos gordos, colas, xaropes, soluções concentradas, etc.) (1).

I — *Bombas com um eixo de rotação*

O tipo destas bombas é a bomba Kinney (fig. 43) que se usa para líquidos muito viscosos.

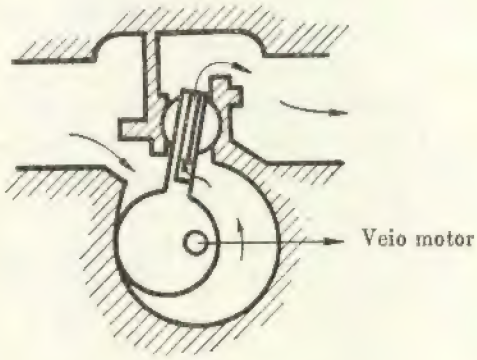


Fig. 43

O funcionamento compreende-se pelo exame da figura em que se vê o movimento do excêntrico.

A expressão da potência será, como para as bombas de êmbolo,

$$N = \frac{Q\,p}{75\,\eta}\,(CV)$$

$$(\eta = 0,75 \text{ a } 0,85)$$

A determinação das dimensões faz-se como no caso das bombas de êmbolo, excepto no que se refere ao volume.

Sendo D o diâmetro do corpo de bomba, d o do excêntrico e l a largura da bomba o volume de líquido transportado por rotação será

$$v = \eta_v \frac{\pi\,(D^2 - d^2)}{4}\,l$$

(1) c representa o percurso do êmbolo e D o diâmetro.

(2) Rigorosamente N deverá ser a potência indicada, mas o erro que se introduz considerando N, é desprezível em face da incerteza no valor de C_u.

(1) Também se podem empregar, para líquidos pouco viscosos, como por exemplo, éter e sulfureto de carbono.

Sendo n o número de rotação por minuto,

$$Q = \eta_v \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} \cdot l \cdot \frac{n}{60}$$

Aparecem 3 incógnitas D, d e l entre as quais é preciso estabelecer duas relações.

Fazendo

$$d = \xi D$$

$$l = \zeta D ,$$

será

$$Q = \eta_v \frac{\pi (1 - \xi^2) \zeta n D^3}{240}$$

ou

$$D = \sqrt[3]{\frac{76{,}5\ Q}{\eta_v (1 - \xi^2) \zeta n}}$$

O trabalho destas bombas é mais regular se houver dois excêntricos desfasados de 180°, montados no mesmo veio e neste caso, será

$$D = \sqrt[3]{\frac{38{,}2\ Q}{\eta_v (1 - \xi^2) \zeta n}}$$

Em geral,

$$\eta_v \sim 0{,}9 \quad ; \quad \xi \sim 0{,}7 \quad e \quad \zeta = 0{,}6 .$$

O número de rotações varia entre 150 e 300 r. p. m. sendo tanto menor quanto maior for a viscosidade do líquido.

A pressão obtida varia entre 0,3 kg/cm² e 6 kg/cm² (4 psi a 85 psi).

II — *Bombas com dois eixos de rotação*

1.ª — Bombas de carretos (fig. 44)

Um dos carretos recebe o movimento do motor e transmite-o ao outro, as engrenagens podem ser planas, mas, modernamente, são em dente de espinha.

As chumaceiras podem ser interiores ou exteriores conforme o líquido tiver, ou não, propriedades lubrificantes.

Como anteriormente,

$$N = \frac{Qp}{75\,\eta}$$

$$(\eta = 0{,}7)$$

Sendo v_1 o volume de cada reentrância dos dentes e n_1 o número de dentes de cada

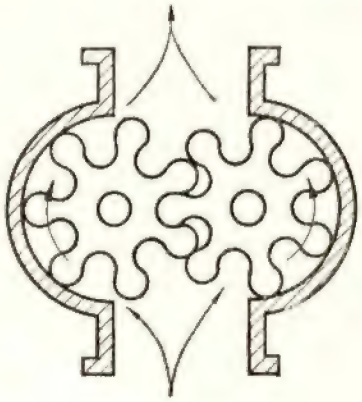


Fig. 44

carreto, o volume transportado por rotação será

$$v = 2\, n_1\, v_1$$

Em primeira aproximação, pode supor-se que a altura dos dentes é metade do raio do carreto e que a secção das reentrâncias é 1,5 vezes superior à das saliências. Representando por l a largura da bomba e por D o diâmetro do carreto, será

$$n_1\, v_1 = \eta_v \frac{1{,}5}{1 + 1{,}5} \frac{\pi \left(D^2 - \frac{D^2}{4}\right)}{4} l =$$

$$= 0{,}6\, \eta_v\, l \cdot \frac{3\, \pi\, D^2}{16}$$

Fazendo,

$$l = \zeta D ,$$

será

$$2\, n_1\, v_1 = \frac{3{,}6\, \pi\, \eta_v\, \zeta\, D^3}{16}$$

Sendo n o número de rotações por minuto,

$$Q = \frac{3{,}6\, \pi\, \eta_v\, \zeta\, D^3}{16} \cdot \frac{n}{60}$$

ou

$$D = \sqrt[3]{\frac{85\ Q}{\eta_v\, \zeta\, n}}$$

Em geral, η_v varia entre 0,9 e 0,95; ζ pode fazer-se igual a 0,75 e n varia com a viscosidade e com o caudal.

Assim, para viscosidades cinemáticas de 100 centistokes n varia entre 850 e 1750 r. p. m.; para viscosidades cinemáticas de 400 centistokes, n varia entre 320 r. p. m. para Q = 200 litros/seg e 1400 r. p. m. para Q = 4 litros/seg; para viscosidades superiores e até 100.000 centistokes, a velocidade diminui gradualmente.

Valores usuais:

$p = 7$ kg/cm² a 50 kg/cm² (50 psi a 300 psi)
$Q = 0{,}3$ litros /seg a 200 litros /seg.

2 — *Bombas cicloidais*

Constituem um caso particular do tipo anterior em que o número de dentes é igual a dois (fig. 45) e tem o nome de bombas do tipo Roots-Connersville.

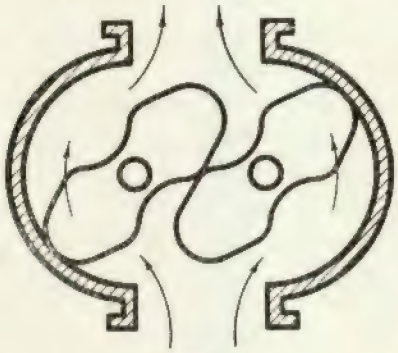


Fig. 45

O nome de bomba cicloidal provém do facto da engrenagem ser cicloidal(¹); a designação não é correcta porque, nas restantes bombas de carreto, as engrenagens também podem ser cicloidais.

A potência será

$$N = \frac{Q\,p}{75\,\eta}$$

$$(\eta = 0{,}75 \text{ a } 0{,}85)$$

O volume deslocado por rotação e por rótor é aproximadamente duplo do volume de cada rótor. Sendo D o diâmetro de cada metade da bomba, o volume deslocado por rotação será, aproximadamente,

$$v = 2 \times \frac{2}{3}\,\frac{\pi D^2}{4}\,.\,l\,,$$

sendo

$$l = \zeta\,D\,.$$

Portanto

$$v = \frac{\pi\,\zeta\,D^3}{3}$$

e

$$Q = \eta_v\,\frac{\pi\,\zeta\,D^3}{3}\cdot\frac{n}{60}$$

e

$$D = \sqrt[3]{\frac{57\,Q}{\eta_v\,n}}$$

$$(\eta_v = 0{,}9\,;\ \xi = 0{,}75)$$

Os valores usuais de Q são análogos aos das bombas de carreto e os de p aos das bombas de excêntrico.

b) *Transporte de líquidos por compressão*

O líquido a transportar está contido num recipiente com três canalizações. Por uma, entra o líquido, por outra, ar comprimido e pela terceira sai o líquido (fig. 46).

O funcionamento é intermitente visto que a entrada de líquido faz-se quando o ar

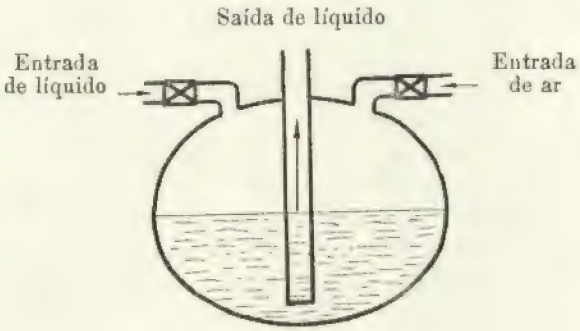


Fig. 46

está fechado e a admissão de ar só se efectua depois de fechada a válvula de entrada do líquido.

Este sistema utilizava-se muito para ácidos e tinha, em geral, a forma de ovo; por isso tinha o nome de «ovo de ácido» (acid

(¹) Mecânica Racional — Engrenagens.

egg), designação a que é preferível a de «monta-ácidos». [1]

Quando o líquido é inflamável, pode usar-se azoto ou anidrido carbónico em vez de ar.

Valores usuais:

$p = 1$ a $2{,}5$ kg/cm²

$Q = 0{,}6$ litros/seg a 60 litros/seg.

Este sistema é pouco usado por ser intermitente (com um número de paragens de cerca de 10 por hora) e ter um rendimento muito baixo (referido à energia consumida no compressor do ar).

CAPÍTULO II

TRANSPORTE DE LÍQUIDOS UTILIZANDO OS PRINCÍPIOS DA HIDRODINÂMICA

O problema consiste em obter uma variação de pressão actuando nos termos V^2 ou U da equação de energia

$$\frac{1}{2}V^2 - U + \frac{p}{\rho} = \text{constante} .$$

Outro processo consiste em provocar um arrastamento do líquido por ar comprimido.

a) *Transporte de líquidos criando um potencial U*

A — *Teoria*

1) *Equação fundamental das bombas centrífugas* [2]

Se uma partícula líquida de massa igual à unidade tiver um movimento circular sobre uma circunferência de raio r, estará submetida a uma força centrífuga que, como se sabe [3], é

$$F = \omega^2 r ,$$

sendo ω a velocidade angular.

(1) O monta-ácidos é descrito em Química Tecnológica.

(2) Este assunto é estudado no actual curso de Máquinas; no entanto expômo-lo porque nos cursos anteriores, não fazia parte do programa.

(3) Mecânica Racional — Cinemática (movimento circular).

Como se sabe [1], também, quando uma força é só função da distância, é conservativa, e, portanto, existe um potencial U que será

$$U = \int_0^r \omega^2 r \, dr = \frac{\omega^2 r^2}{2}$$

A equação da energia, será, pois

$$\frac{1}{2}V^2 - \frac{\omega^2 r^2}{2} + \frac{p}{\rho} = \text{constante}$$

ou

$$\frac{V^2}{2g} - \frac{\omega^2 r^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} = \text{constante} .$$

O potencial que se cria é, portanto, devido à força centrífuga e, por isso, as bombas que utilizam este potencial denominam-se bombas centrífugas.

A força centrífuga obtém-se por meio de um rótor com pás que pode ser fechado ou aberto conforme as pás estão compreendidas entre dois discos ou não. Na figura 47, está representado um desenho esquemático de um rótor fechado, cujos cortes longitudinal e transversal são os que se podem ver em livros sobre bombas.

Consideremos, então, a secção transversal do rótor (fig. 48).

Suponhamos que o líquido entra nas pás com uma velocidade absoluta V_1 e sai com uma velocidade V_2. Estas velocidades podem decompor-se nas velocidades relativas W_1 e W_2 e nas de transporte v_1 e v_2.

A acção do potencial $\frac{\omega^2 r^2}{2}$ determina a velocidade W em relação à pá e, portanto, a equação do movimento será

$$\frac{W_2^2}{2g} - \frac{\omega^2 r_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} = \frac{W_1^2}{2g} - \frac{\omega^2 r_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma}$$

Atendendo a que $\omega r = v$, sendo v a velocidade de transporte, ter-se-á

$$\frac{p_2 - p_1}{\gamma} = \frac{1}{2g}(v_2^2 - v_1^2) - \frac{1}{2g}(W_2^2 - W_1^2) \quad (1)$$

(1) Mecânica Racional — Trabalho.

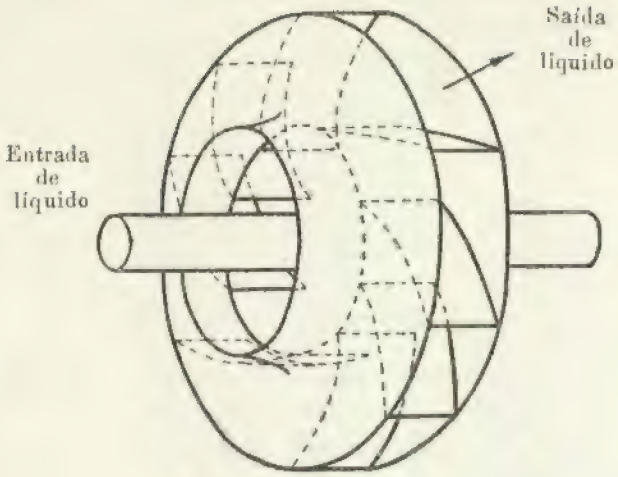


Fig. 47

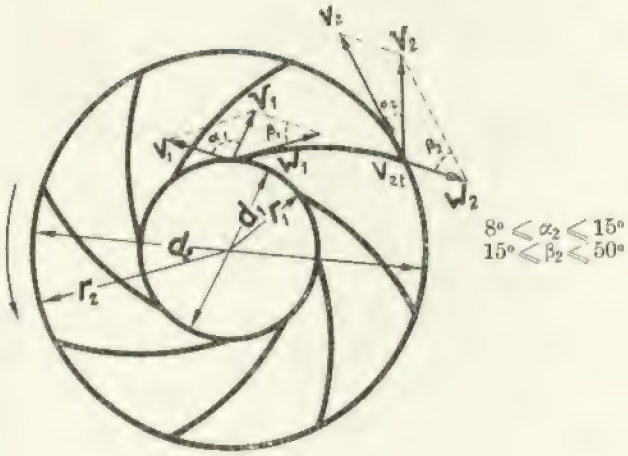


Fig. 48

O que interessa, na prática, é exprimir esta igualdade em função da altura de elevação. Para isso, considere-se a bomba colocada num determinado ponto (fig. 49).

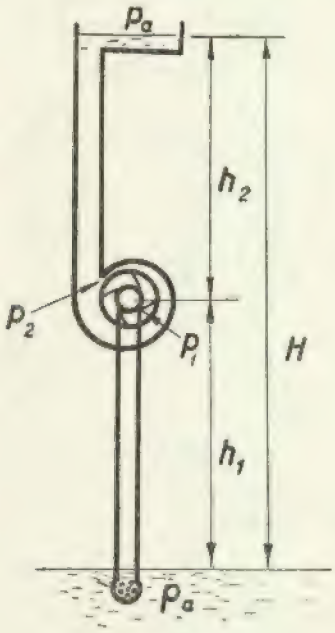


Fig. 49

Admitindo que a velocidade do líquido no nível inferior é nula, e, atendendo a que a pressão, nesse nível é igual à pressão atmosférica p_a, o teorema de Bernoulli, aplicado à elevação até à bomba, dará

$$\frac{p_a}{\gamma} = \frac{p_1}{\gamma} + h_1 + \frac{V_1^2}{2g},$$

visto que V_1 é a velocidade absoluta à entrada nas pás.

Portanto

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma} - h_1 - \frac{V_1^2}{2g} \text{ (1)} \quad \ldots\ldots (2)$$

Por outro lado, admitindo, também que a velocidade no recipiente de chegada é nula e que a pressão neste recipiente é também igual à pressão atmosférica, p_a, o teorema de Bernoulli, aplicado ao percurso desde a bomba até ao nível superior será

$$\frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} = \frac{p_a}{\gamma} + h_2 \ldots\ldots\ldots (3)$$

Combinando as equações (2) e (3), ter-se-á

$$\frac{p_2 - p_1}{\gamma} = h_2 + h_1 + \frac{1}{2g}(V_1^2 - V_2^2) =$$

$$= H + \frac{1}{2g}(V_1^2 - V_2^2)$$

Substituindo este valor de $\frac{p_1 - p_2}{\gamma}$ em (1), ter-se-á, finalmente,

---

(1) Desta expressão se conclui que $0 < \frac{p_1}{\gamma} < \frac{p_a}{\gamma} - h_1$ e, portanto $h_1 < \frac{p_a - p_1}{\gamma}$ e $(h_1)_{max} = \frac{p_a}{\gamma}$.

Para a água, por exemplo, será, como já vimos $(h_1)_{max} = 10^m,33$, valor que na prática, é reduzido para 5 a 6 metros.

$$\frac{1}{2g}(v_2^2 - v_1^2) - \frac{1}{2g}(W_2^2 - W_1^2) =$$
$$= H + \frac{1}{2g}(V_1^2 - V_2^2) ,$$

e, portanto

$$H = \frac{1}{2g}[(v_2^2 - v_1^2) + (V_2^2 - V_1^2) - (W_2^2 - W_1^2)]$$

que é a equação fundamental das bombas centrífugas.

Há vantagem em transformar esta expressão, a partir das relações geométricas dos paralelogramos das velocidades (fig. 48).

$$W_1^2 = v_1^2 + V_1^2 - 2\,V_1\,v_1 \cos \alpha_1$$
$$W_2^2 = v_2^2 + V_2^2 - 2\,V_2\,v_2 \cos \alpha_2 ,$$

e, portanto,

$$H = \frac{1}{2g}[(v_2^2 - v_1^2) + (V_2^2 - V_1^2) -$$
$$- (v_1^2 + V_1^2 - 2\,V_1\,v_1 \cos \alpha_1 - v_2^2 - V_2^2 +$$
$$+ 2\,V_2\,v_2 \cos \alpha_2)] =$$
$$= \frac{1}{g}(V_2\,v_2 \cos \alpha_2 - V_1\,v_1 \cos \alpha_1)$$

Em geral, o líquido entra na bomba, radialmente, e, por isso, $\alpha_1 = 90^\circ$ e $\cos \alpha_1 = 0$.

Portanto

$$H = \frac{V_2\,v_2 \cos \alpha_2}{g} ,$$

sendo $\alpha_2 = 8^\circ$ a 15° e $\beta_2 = 15^\circ$ a 50°, como se indica na fig. 48. Mas como $V_2 \cos \alpha_2$ é a componente tangencial de V_2, V_{2t}, será

$$H = \frac{v_2\,V_{2t}}{g}$$

O raciocínio feito admite que as partículas líquidas acompanham as pás em todos os pontos do movimento, mas, é evidente que isto só é rigorosamente verdadeiro se o número de pás for infinito; por isso, o valor de H tem de ser afectado de um coeficiente k que varia entre 0,5 e 0,85, como se verá.

Por outro lado, como acontecia com as bombas de êmbolo há que introduzir o rendimento hidráulico η_h que, como vimos, varia entre 0,7 e 0,9.

A altura real de elevação será, portanto,

$$H_r = \eta_h \frac{k\,v_2\,V_{2t}}{g}$$

A potência necessária será, como anteriormente,

$$N = \frac{\gamma\,Q\,H}{75\,\eta} ,$$

sendo

$$\eta = \eta_h \times \eta_m ,$$

e em que $\eta_m = 0{,}85$ a $0{,}95$, como no caso das bombas do êmbolo.

2) *Tipos de bombas centrífugas*

Classificam-se pelo modo como se efectua o percurso do líquido depois de sair do rótor, em dois grupos principais: Bombas de voluta e de turbina.

I — *Bombas de voluta*

O líquido que sai do rótor entra num canal de secção circular a qual vai aumentando até à canalização de saída (fig. 50).

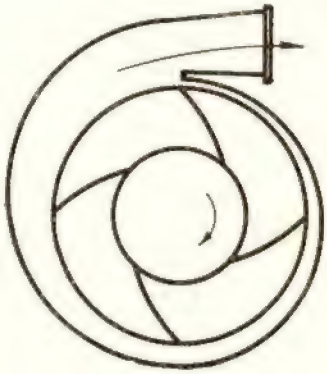


Fig. 50

Estas bombas têm um rendimento baixo, devido à brusca mudança de direcção da velocidade, à saída do rótor.

Os valores de k são dados no quadro VI.

QUADRO VI

d_1/d_2	$\beta_2 = 30^\circ$	$\beta_2 = 20^\circ$	$\beta_2 = 15^\circ$
1,25	0,55	0,63	0,69
1,5	0,63	0,71	0,77
2	0,70	0,77	0,82

II — *Bombas de turbina*

Para tornar a mudança de direcção da velocidade mais gradual existe entre o rótor e o canal um anel difusor com pás (fig. 51).

Estas bombas permitem obter pressões altas com bom rendimento, associando vários rótors em série sobre o mesmo veio (bombas de vários andares).

Quando há necessidade de criar pressões elevadas e não se dispõe de uma bomba de mais de um andar podem ligar-se várias bombas em série.

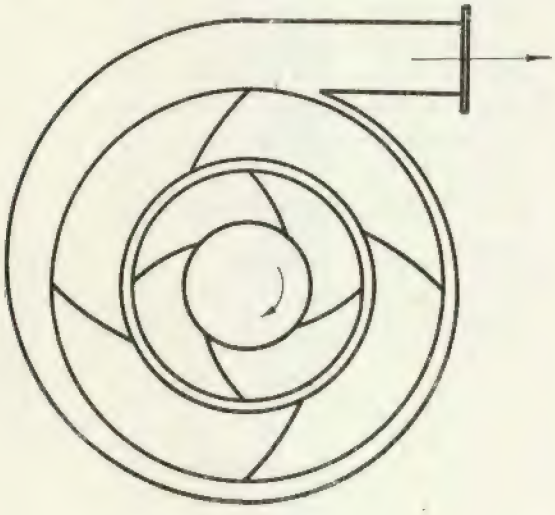


Fig. 51

Os valores de k são dados no quadro VII.

QUADRO VII

d_2 / d_1	$\beta_2 = 40°$	$\beta_2 = 30°$	$\beta_2 = 20°$
1,5	0,68	0,73	0,8
2	0,75	0,78	0,84
2,5	0,77	0,8	0,86

Quer no caso de bombas de voluta quer de turbina, a aspiração pode efectuar-se por um lado ou pelos dois lados do rótor (bombas de simples e de dupla aspiração).

3) *Traçado das pás*

I — *Pás do rótor*

Em geral, as pás são cilíndricas de directriz circular [1]. Há vários traçados dos quais apresentamos um, aplicado a um exemplo (fig. 52).

Seja

$d_1 = 20$ cm ; $d_2 = 40$ cm ; $\beta_1 = 20°$ e $\beta_2 = 30°$

Por um ponto P da extremidade de um diâmetro traça-se a recta P Q fazendo um ângulo β_2 com esse diâmetro e pelo centro O uma recta OR fazendo com o mesmo diâmetro um ângulo $\beta_1 + \beta_2$, mas para o outro lado.

Traça-se a recta $\overline{PR}$ até encontrar a

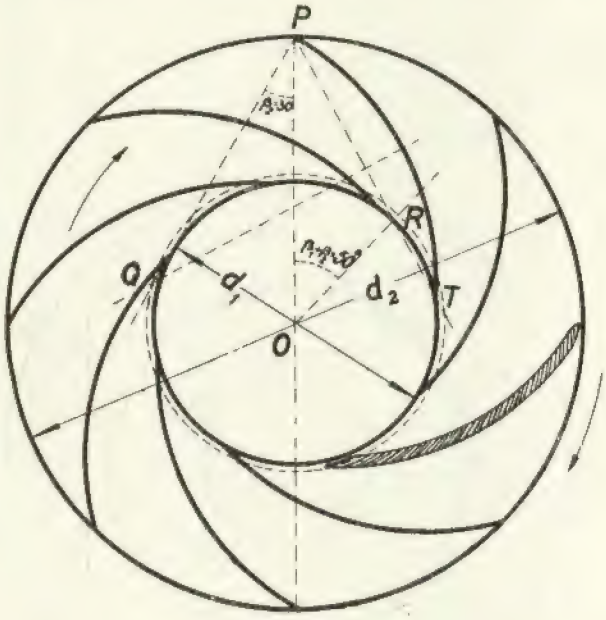


Fig. 52

circunferência interior no ponto T e, pelo meio do segmento $\overline{PT}$ levanta-se uma perpendicular a $\overline{PR}$ até encontrar $\overline{PQ}$. Com centro em Q traça-se o arco $\overline{PT}$ que é a directriz da pá.

Traçando uma circunferência com centro em O e raio $\overline{OQ}$, obtém-se o lugar geométrico dos centros das pás; dividindo esta circunferência num certo número de partes iguais a partir de Q, obtêm-se os diferentes centros.

A chapa das pás tem uma certa espessura mas deve afilar-se nas pontas.

II — *Pás do anel difusor*

Como vimos (fig. 48), a velocidade de saída V_2 faz um ângulo α_2 com a direcção tangencial; por isso, teòricamente, as pás do anel devem ser orientadas de modo que a tangente, à entrada, faça um ângulo α_2 com a direcção tangencial (fig. 53).

Na prática, porém, atendendo a que o número de pás não é infinito, a velocidade V_2 à saída não tem a direcção indicada

[1] Podem também ser helicoidais, mas não nos ocupamos desse caso por ser muito especializado.

mas faz com v_2 um ângulo superior a α_2 que será α'_2, mantendo-se constante a velocidade normal V_{2n}. O novo ângulo α'_2 será dado pela expressão

$$\operatorname{tg} \alpha'_2 = \frac{V_{2n}}{V'_{2t}} \ .$$

mas, como se viu, a altura de elevação é

$$H = \eta_v \frac{k V_2 v_{2t}}{g}$$

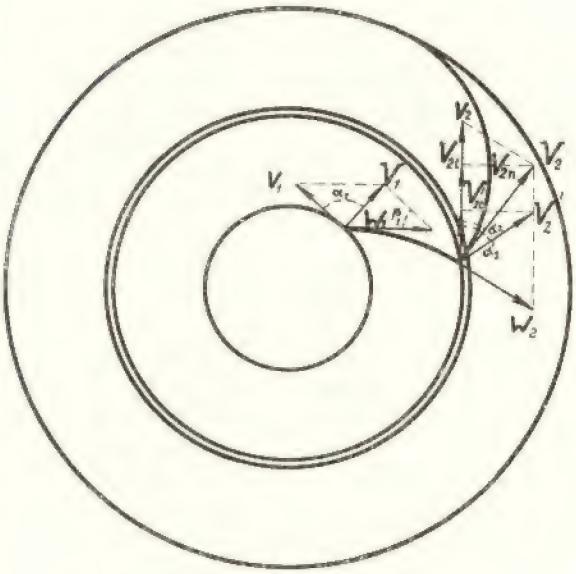


Fig. 53

Atendendo a que o coeficiente k representa a correcção devida ao número limitado de pás, pode fazer-se

$$k V_{2t} = V'_{2t} \ .$$

Logo

$$\operatorname{tg} \alpha'_2 = \frac{V_{2n}}{k V_{2t}} = \frac{V_2 \operatorname{sen} \alpha_2}{k V_2 \cos \alpha_2} = \frac{1}{k} \operatorname{tg} \alpha_2$$

A forma das pás é a de uma evolvente de recta [1] em que a base tem um diâmetro d'

$$d' = d_2 \operatorname{sen} \alpha'_2 \ .$$

Na fig. 54, faz-se um traçado com os dados da fig. 52 e com mais os seguintes elementos:

$$\alpha_2 = 10^\circ \ ; \ k = 0{,}7 \ ; \ n = 1.450 \text{ r. p. m.}$$

[1] Prática de Mecânica Racional — Curvas Cíclicas.

Portanto,

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} = 152 \text{ seg}^{-1}; \ V_1 = 1520 \text{ cm seg}^{-1}; \ V_2 = 3040 \text{ cm seg}^{-1}$$

$$\operatorname{tg} \alpha'_2 = \frac{\operatorname{tg} 10^\circ}{0{,}7} = \frac{0{,}176}{0{,}7} = 0{,}252 \text{ e } \alpha'_2 = 14^\circ \ 10'$$

Finalmente

$$d' = 40 \text{ cm} \times \operatorname{sen} 14^\circ 10' = 40 \times 0{,}202 = 8{,}08 \text{ cm.}$$

As pás devem ser afiladas, como no caso do rótor e devem ficar a uma certa distância da circunferência de raio r_2 [1].

4) *Determinação das dimensões*

Consideremos a secção longitudinal do rótor indicado na fig. 47 (fig. 55 a). Como a velocidade à saída do rótor é superior à da

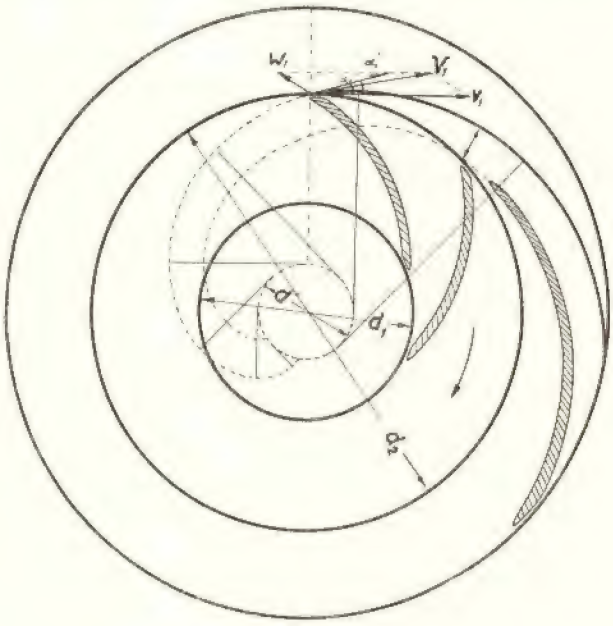


Fig. 54

entrada, esta secção não tem lógica, e por isso, usa-se a da figura 55 b [2].

Em primeiro lugar, fixam-se os valores de n e de V_1.

[1] A prática mostra que os extremos das pás do rótor também devem ter a forma de evolvente, o que é um pormenor que não nos interessa muito, visto estarmos a estudar o problema em linhas gerais.

[2] Nesta figura d_0 e d são iguais, mas podiam ser diferentes.

Em geral, estas bombas estão acopladas directamente aos motores e, como quase sempre, se utilizam motores eléctricos trifásicos de 50 períodos, as velocidades usuais são de 950,1450 ou 2900 r. p. m. [1]. Se o movimento é obtido por transmissão por correia (caso pouco vulgar), n pode ter valores diferentes [2].

A velocidade V_1 deve variar entre 2 m/seg e 4 m/seg. A velocidade de entrada na bomba, V_0, faz-se, aproximadamente. igual a V_1.

II — *Diâmetros d_1 e d_2*

No exemplo que estamos a considerar, $d_1 = d_0$, mas, por razões de construção d_1 pode ser diferente de d_0. Neste caso, toma-se o valor de d_1 do desenho.

O diâmetro d_2 é

$d_2 = 1{,}2\ d_0$ a $2\ d_0$ para bombas de baixa pressão ($p < 3$ kg/cm² ou $p < 45$ psi)

$d_2 = 1{,}5\ d_0$ a $2{,}5\ d_0$ para bombas de alta pressão ($p > 3$ kg/cm² ou $p > 45$ psi)

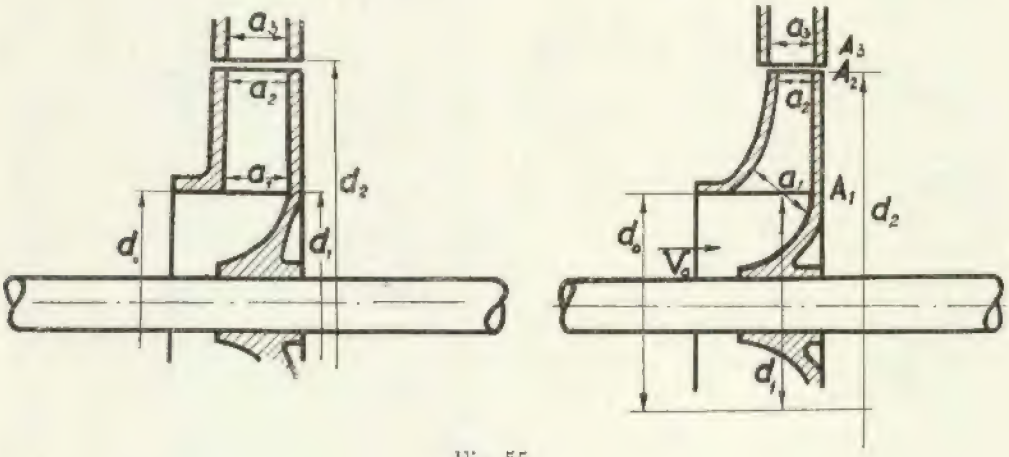


Fig. 55

I — *Diâmetro de entrada d_0*

Como a secção de entrada é reduzida da secção do veio e do cubo, a área útil é igual à área total afectada de um coeficiente c_1 que varia entre 0,7 e 0,9, tomando-se 0,85 para bombas de simples entrada e de um andar e 0,7 para as de mais de um andar.

Por outro lado, há sempre uma certa perda de líquido à entrada e, por isso, é preciso fazer o cálculo para um caudal superior a Q que se obtém introduzindo um coeficiente c_2 que varia entre 1,03 e 1,1.

Portanto,

$$c_1 \frac{\pi d_0^2}{4} V_0 = c_2 Q$$

e

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 c_2 Q}{\pi c_1 V_0}}$$

III — *Velocidades*

Com os valores de n, d_1 e d_2, e com os valores usuais dos ângulos, traçam-se os polígonos das velocidades e determinam-se estas gràficamente.

IV — *Larguras úteis a_1 a_2 e a_3*

As áreas de passagem do líquido nos pontos A_1, A_2 e A_3 são superfícies cilíndricas cujas áreas são, respectivamente,

$$S_1 = \pi\ d_1\ a_1$$
$$S_2 = \pi\ d_2\ a_2$$
$$S_3 = \pi\ d_3\ a_3$$

Estas áreas têm de ser afectadas de coeficientes correctivos devido à espessura das pás os quais serão tanto maiores quanto maior for o número de pás e a sua espessura.

(1) Electrotecnia Geral — Motores de corrente alterna.

(2) Quando se empregam turbinas de vapor, n pode atingir 5000 r. p. m.

O caudal Q terá também, de ser ajudado de um coeficiente correctivo k devido às perdas de líquido, o qual tem o valor aproximado de

$$k' = 1{,}05 \quad .$$

α — Valor de a_1

Ter-se-á

$$\pi\, d_1\, a_1 \,.\, k_1\, V_1 = k'\, Q$$

Portanto

$$a_1 = \frac{k'\, Q}{\pi\, k_1\, d_1\, V_1}$$

$$(k_1 = 0{,}85 \text{ a } 0{,}95)$$

β — Valor de a_2

Será

$$\pi\, d_2\, a_2 \,.\, k_2 \,.\, V_{2n} = k'\, Q$$

e

$$a_2 = \frac{k'\, Q}{\pi\, k_2\, d_2\, V_{2n}}$$

$$(k_2 = 0{,}95 \text{ a } 1)$$

Como já se viu,

$$V_{2n} = V_2 \operatorname{sen} \alpha_2 \quad ,$$

e determina-se a partir do paralelogramo das velocidades.

γ — Valor de a_3

Em geral, a_3 excede a_2 em 1 ou 2 mm.

V — *Fixação do número de pás e das suas dimensões*

O número de pás oscila entre 4 e 12 e a sua espessura entre 4 a 11 mm (para ferro fundido) e 3 a 6 mm (para bronze), correspondendo os maiores valores aos maiores diâmetros.

O número de pás do anel difusor varia entre 6 e 12 e convém que o seu número seja diferente do das pás do rótor.

VI — *Dimensões do veio e do cubo*

O veio tem de ser calculado para um momento de torsão devido à potência N, que, como já vimos, é

$$N = \frac{\gamma\, Q\, H_r}{75\, \eta}$$

Como se sabe [1] a fórmula de resistência à torsão é

$$\Theta = M_t \frac{r}{I_p} \quad ,$$

sendo

$$M_t = 716{,}2 \frac{N}{n} \text{ kg m} = 71620 \frac{N}{n} \text{ kg cm} \quad ,$$

$$r = \frac{d}{2}$$

e

$$I_p = \frac{\pi\, d^4}{32}$$

Portanto,

$$\frac{r}{I_p} = \frac{16}{\pi\, d^3}$$

e

$$\Theta = \frac{365.000\ N}{n\ d^3}$$

ou

$$d = \sqrt[3]{\frac{365.000\ N}{n\ \Theta}}$$

A fadiga admissível usada é

$$\Theta = 120 \text{ kg/cm}^2$$

e, portanto

$$d = \sqrt[3]{3.000\ \frac{N}{n}} = 14{,}4 \sqrt[3]{\frac{N}{n}}$$

O diâmetro do cubo D pode tomar-se

$$D = 1{,}5\ d \text{ a } 2\ d$$

VII — *Valor máximo do número de rotações*

Como se sabe [2], a velocidade de rotação do veio não pode exceder a velocidade crí-

---

(1) Resistência de Materiais — Torsão.

(2) Máquinas — Velocidade crítica.

tica. O número crítico de rotações é dado pela expressão

$$n_c = 300 \sqrt{\frac{\alpha}{P}}$$

sendo P o peso do rótor, $\alpha = \frac{1}{y}$ e y a flecha produzida por uma carga uniformemente distribuída igual à unidade, ou seja

$$y = \frac{5\, l^3}{384\, EI} \quad (^1)$$

Portanto

$$\alpha = \frac{384\, EI}{5\, l^3},$$

em que

$$E = 2.100.000 \text{ kg/cm}^2 \;,\; I = \frac{\pi\, d^4}{64}$$

e l o comprimento do veio, que se determina no desenho do rótor, feito com os valores já achados.

O peso P determina-se a partir das dimensões do rótor.

Na prática nunca se deve exceder um valor igual a metade de n_c.

B — *Prática*

As bombas centrífugas utilizam-se para baixas pressões (inferiores a 1,5 kg/cm² ou 20 psi), para médias pressões (de 1,5 a 4 kg/cm² ou 20 a 55 psi) e altas pressões (superiores a 4 kg/cm² ou 55 psi).

Em geral, as bombas de um andar, empregam-se para pressões que não excedam 2 kg/cm² e as suas capacidades variam entre 0,7 litros/seg e 350 litros/seg.

Comparadas com as bombas de êmbolo, apresentam as vantagens e inconvenientes que se indicam.

1 — *Vantagens*

Enviam o líquido a uma pressão uniforme sem choques; podem ser ligadas directamente ao motor sem transmissão nenhuma; podem transportar líquidos com sólidos em suspensão; podem ser construídas em diversos materiais resistentes à corrosão e as reparações são mais rápidas do que nas bombas de êmbolo.

2 — *Inconvenientes*

Não podem ser utilizadas para grandes pressões; são mais caras, em igualdade de capacidade e de rendimento; o rendimento é variável com o caudal e necessitam de ser ferradas, quando há uma altura de aspiração.

No que se refere às indústrias químicas, só é de considerar o primeiro dos inconvenientes, porque, quando é necessário atingir pressões muito elevadas, tem de se utilizar bombas de êmbolo.

As desvantagens do rendimento e da necessidade de serem ferradas não se reflectem de um modo importante, na indústría química, pelos seguintes motivos:

I — *Rendimento*

As bombas constituem pontos vitais nas indústrias químicas e a qualidade que se lhe tem de exigir principalmente é que *não parem* e não interrompam a fabricação.

Por isso, usam-se, em geral, bombas com capacidade superior à necessária e com rótor aberto o que faz diminuir o rendimento, mas à custa de uma maior regularidade de funcionamento (¹).

II — *Ferra (priming)*

Se houver uma canalização de aspiração, a bomba não pode começar a funcionar enquanto essa canalização não estiver cheia de líquido. Por isso, há necessidade de ferrar a bomba para o que a canalização tem de ter, no nível inferior, uma válvula de retenção, ou ter adaptado um aparelho de vácuo que crie uma depressão na canalização.

Há certos tipos de bombas que ferram automàticamente (self-priming) das quais, o tipo mais conhecido é o da bomba La Bour cuja descrição se pode ver em alguns livros sobre bombas, como por exemplo, em «Chemical Machinery» de Raymond Riegel, edição de 1944, pág. 125 e 126.

(¹) Resistência de Materiais — Flexão.

(¹) Chega-se a trabalhar com rendimento de 10 e 15 %

b) *Transporte de líquidos variando a velocidade V.*

Obtém-se com o ejector ou trompa (fig. 56). O fluído auxiliar é obrigado a passar por uma tubuladura de Venturi que existe na

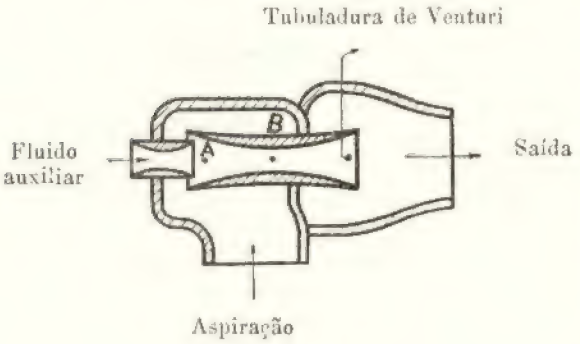


Fig. 56

parte central do ejector e portanto a sua velocidade U_A no ponto A será aumentada para U_B no ponto B, de tal modo que

$$U_B = \frac{S_A}{S_B} U_A .$$

Aplicando a equação de Bernoulli nos pontos A e B ter-se-á

$$\frac{1}{2g} U^2_A + \frac{p_A}{\gamma} = \frac{1}{2g} U^2_B + \frac{p_B}{\gamma}$$

ou

$$\frac{p_B}{\gamma} = \frac{p_A}{\gamma} - \frac{1}{2g} (U^2_B - U^2_A) =$$

$$= \frac{p_A}{\gamma} - \frac{1}{2g} U^2_A \left[\left(\frac{S_A}{S_B} \right)^2 - 1 \right]$$

Como $\frac{S_A}{S_B} > 1$ conclui-se que $p_B < p_A$ e, portanto cria-se em B uma depressão que aumenta com U_A a qual obriga o líquido a transportar, a atravessar a tubuladura de Venturi.

O fluído auxiliar em geral, é vapor cuja pressão varia entre 1,5 kg/cm² (20 psi) a 13 kg/cm² (200 psi).

Esse sistema, para líquidos, só se usa, pràticamente, para transporte entre tanques cujo desnível seja pequeno, porque a altura máxima de elevação que se consegue é de 5 m, o rendimento é muito baixo (1 % a 2 %) e, além disso, o fluido a transportar sai misturado com o fluido auxiliar.

c) *Transporte por arrastamento com ar comprimido* (1)

O líquido é transportado fazendo-o atravessar por uma corrente de ar comprimido cujas bolhas provocam, por um lado, um arrastamento por atrito na sua ascenção ao longo do tubo e, por outro lado, diminuem a densidade aparente do líquido.

O aparelho que efectua o transporte deste modo tem o nome de emulsor (air lift) (2).

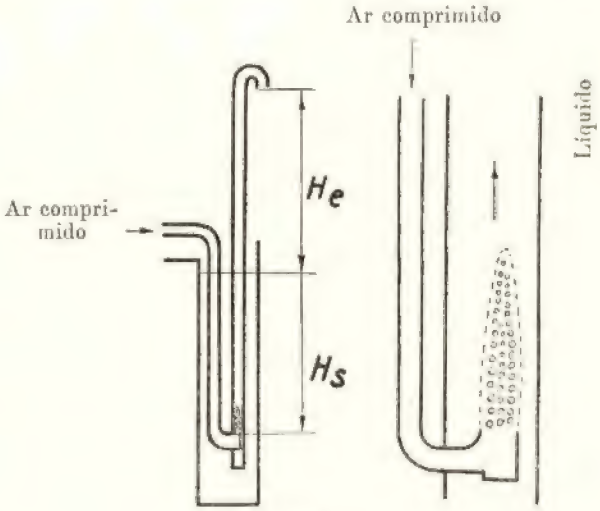


Fig. 57

É difícil traduzir matemàticamente, de uma maneira precisa o funcionamento do emulsor; por isso, utiliza-se uma fórmula empírica da «Ingersoll-Rand Company», que dá o volume de ar expresso em metros cúbicos, necessário para elevar um metro cúbico de água:

$$V_a = \frac{19{,}5 \text{ Hs}}{C \log_{10} (1 + 0{,}1 \text{ Hs})} ,$$

(1) O fluído auxiliar pode ser compreensível (vapor) e, nestas condições, esta equação não é aplicável sob esta forma, como veremos no transporte de gases. No entanto, essef acto não altera, sensìvelmente, o raciocínio feito.

(2) O emulsor é descrito em Química Tecnológica.

sendo H_e a altura de elevação em metros e H_s a altura de submergência.

O coeficiente C, tem os valores do quadro VIII [1].

QUADRO VIII

H_e em metros	C
3 a 18	245
18 a 60	233
60 a 150	216
150 a 200	185

Se em vez de água se tratar de outro líquido, podem multiplicar-se as alturas H_e e H_s pela densidade do líquido em relação à água.

A relação

$$s = \frac{H_s}{H_e + H_s} ,$$

varia entre 0,66 para $H_e = 6^m$ e 0,41 para $H_e = 150^m$.

A pressão do ar deve ser

$$p = p_a - 0{,}03 \text{ s kg/cm}^2$$

sendo p_a a pressão atmosférica expressa em kg/cm² [2].

A potência será

$$N = \frac{\gamma Q H}{75 \eta}$$

e o rendimento referido ao compressor é

$$\eta = 0{,}7 ,$$

sendo menor no início do funcionamento.

---

(1) Em unidades americanas, o volume de ar, expresso em pés cúbicos, para elevar um galão de água é

$$V_a = \frac{0{,}8 \, H_e}{C \log \frac{Hs + 34}{34}}$$

Os valores de C são os do quadro VIII

(2) No início do funcionamento, a pressão do ar tem de ser maior e equivalente a uma coluna de líquido de altura igual à distância entre o nível da superfície livre e o orifício de entrada do ar.

Valores usuais

$H_e = 3^m$ a 200^m

$Q = 0{,}5$ l/seg a 60 l/seg.

Diâmetro do tubo do líquido = 1" a 6"

Diâmetro do poço = 3" a 10"

Diâmetro do tubo de ar = ½" a 2"

III PARTE

MEDIÇÕES

Como se viu, no que se expôs anteriormente, todos os problemas de transporte de líquidos se resolvem com maior ou menor rigor, com o conhecimento da pressão p, da velocidade U e do caudal Q, grandezas que têm de ser medidas ou calculadas a partir de outros dados.

CAPÍTULO I

MEDIÇÃO DE PRESSÕES

Considere-se um tanque ou um tubo em que se pretende medir a pressão numa secção qualquer.

O problema resolve-se fazendo um orifício na parede, adaptando um tubo a esse orifício (por soldadura, com uma rolha, ou por qualquer outro processo e aplicando um manómetro na extremidade do tubo (fig. 58).

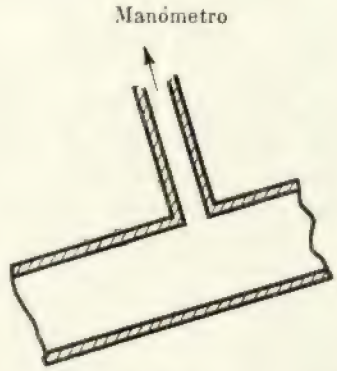


Fig. 58

O orifício deve ser liso, um pouco arredondado interiormente e deve ser pequeno (3 a 12 mm) para não causar perturbações no conjunto do líquido.

Em certos casos, pode convir que o tubo tenha uma torneira para o isolar do manómetro, quando necessário.

O tipo de manómetro é diferente conforme se trate de pressões normais, baixas ou altas, entendendo-se por pressões normais as compreendidas entre 10 mm e 1000 mm de mercúrio.

a) *Manómetros para pressões normais*

Em geral, usa-se o manómetro de coluna de líquido que, como se sabe, é constituído por um tubo em U que contém um líquido cujo desnível nos dois ramos indica a diferença entre a pressão do líquido e a atmosférica (fig. 59).

A forma indicada na figura, destina-se a ter os tubos o mais perto possível para maior rigor de leitura.

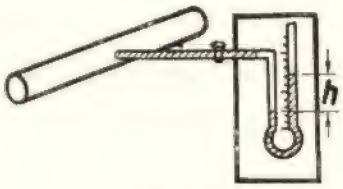


Fig. 59

É evidente que o líquido do tubo enche, em parte, o tubo de ligação e mesmo o tubo do manómetro, ficando uma camada de ar entre os 2 líquidos.

O valor de Δp será, evidentemente,

$$\Delta p = \gamma\ h\ ;$$

sendo $\Delta\ p$ a diferença de pressão do líquido e a pressão atmosférica e a que se dá o nome de pressão relativa.

A pressão absoluta será

$$p = p_a + \Delta\ p.$$

É evidente que o valor de $\Delta\ p$ é tanto mais rigoroso quanto menor for γ e, por isso, para pressões baixas, usam-se líquidos de densidades pequenas. Emprega-se, em geral, a água, mas atendendo à elevada tensão de vapor e à variável tensão superficial é preferível substituí-la por azeite, para medidas mais rigorosas o que, por outro lado, exige a determinação rigorosa de γ com um picnómetro.

Para pressões elevadas, para não ter manómetros de grandes dimensões, utiliza-se o mercúrio como líquido manométrico.

Como se sabe, também, o ramo terminal do tubo pode ser fechado e neste caso, a leitura dá, imediatamente, a pressão absoluta. Este tipo de manómetro é, porém, menos usado.

b) *Manómetros para baixas pressões*

O que se usa mais correntemente, na indústria é o manómetro de tubo inclinado que é um barómetro de coluna de líquido, como anteriormente (fig. 60).

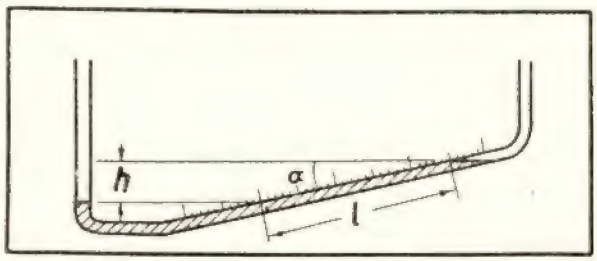


Fig. 60

A altura será $h = l$ sen α, mas, em geral, a escala já está graduada em alturas.

c) *Manómetros para altas pressões*

Podem utilizar-se manómetros de mercúrio em série (fig. 61) ou, mais geralmente, manómetros metálicos, cujo funcionamento já é conhecido.

CAPÍTULO II

MEDIÇÃO DE VELOCIDADES

As velocidades não são medidas directamente, mas calculadas a partir das fórmulas que as relacionam com as pressões e as cotas, por dois processos: ou medindo a diferença de pressões entre dois pontos ou relacionando a pressão estática com a dinâmica.

a) *Cálculo de velocidades por meio da diferença de pressões entre dois pontos*

Consiste em criar um acidente no tubo e medir a diferença de pressões antes e depois desse acidente.

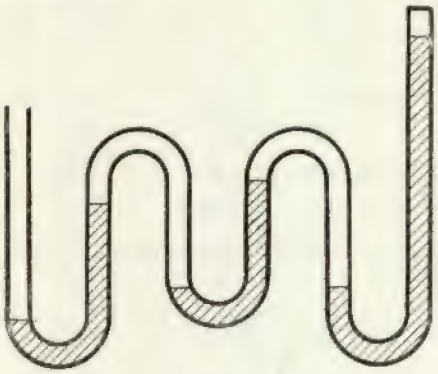


Fig. 61

1 — *Método do orifício*

Consiste em provocar uma contracção na canalização no ponto em que se pretende medir a velocidade (fig. 62)

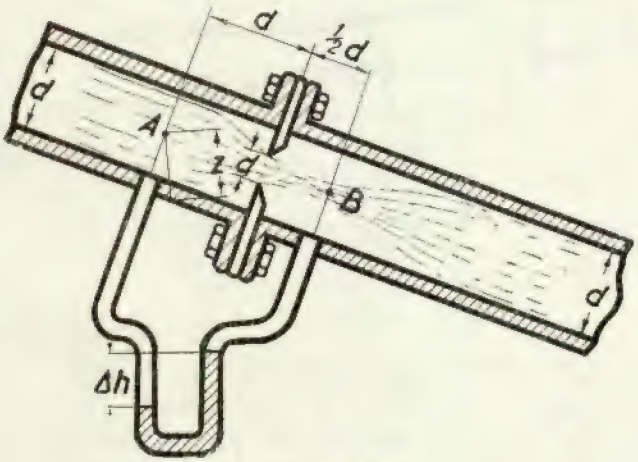


Fig. 62

Aplicando a equação de Bernoulli aos pontos A e B ter-se-á:

$$\frac{1}{2g} U_A^2 + z_A + \frac{p_A}{\gamma} = \frac{1}{2g} U_B^2 + z_B + \frac{p_B}{\gamma}$$

Mas,

$$z_A - z_B = z \quad \text{e} \quad \frac{p_A}{\gamma} - \frac{p_B}{\gamma} = \Delta h \quad ;$$

portanto:

$$\frac{1}{2g}\left(U_B^2 - U_A^2\right) = z + \Delta h$$

ou

$$\sqrt{U_B^2 - U_A^2} = \sqrt{2\,g\,(z + \Delta h)}$$

Entrando em consideração com o coeficiente de velocidade C_V será

$$\sqrt{U_B^2 - U_A^2} = C_V \sqrt{2\,g\,(z + \Delta h)}$$

O ponto A deve ser escolhido a uma distância do orifício em que não haja, ainda, perturbações nas linhas de corrente (cerca de 1 diâmetro) e o ponto B sobre a secção contraída da corrente líquida. Esta mantém-se constante dentro de certos limites que variam com a relação entre os diâmetros do orifício e do tubo, mas para valores desta relação entre 0,2 e 0,8, a corrente líquida tem essa secção a uma distância do orifício igual a metade do diâmetro do tubo.

Representando as secções da veia líquida em A e B por S_A e S_B, será

$$U_B = \frac{S_A}{S_B} U_A$$

e, portanto

$$U_A = C_V \sqrt{\frac{2g\,(z + \Delta h)}{\left(\frac{S_A}{S_B}\right)^2 - 1}}$$

Mas, $S_B = m\ S_O$ sendo m o coeficiente de contracção e S_O a secção do orifício. Logo

$$U_A = C_V \sqrt{\frac{2g\,(z + \Delta h)}{\left(\frac{S_A}{m\,S_O}\right)^2 - 1}} = C_V \sqrt{\frac{2g\,(z + \Delta h)}{\frac{d^4}{m^2\,d_O^4} - 1}}$$

sendo d e d_O respectivamente os diâmetros do tubo e do orifício.

QUADRO IX

d \ $\frac{d_o}{d}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
3″	0,605	0,606	0,609	0,612	0,615	0,617	0,614
4″	0,603	0,605	0,607	0,611	0,613	0,615	0,613
6″	0,600	0,602	0,605	0,609	0,612	0,614	0,611
8″	0,598	0,600	0,603	0,607	0,610	0,613	0,608
10″	0,596	0,599	0.602	0,605	0,608	0,611	0,605
12″	0,594	0,597	0,601	0,603	0,606	0,608	0,603
15″	0,592	0,595	0,598	0,601	0,601	0,605	0,600

Para valores pequenos de $\frac{d_o}{d}$, o termo $\frac{d^4}{m^2 d_o^4}$ é muito grande em relação à unidade e, portanto,

$$U_A = C_v\, m \left(\frac{d_o}{d}\right)^2 \sqrt{2\, g\, (z + \Delta h)} =$$

$$= c \left(\frac{d_o}{d}\right)^2 \sqrt{2g\, (z + \Delta h)}\ ,$$

em que c representa o coeficiente de vazão, que, como já vimos, é aproximadamente igual a 0,61; este valor, no entanto, varia um pouco com o diâmetro do tubo e com a relação $\frac{d_o}{d}$, como se mostra no quadro IX.

No caso do tubo ser horizontal, z = o e, finalmente,

$$U_A = c \left(\frac{d_o}{d}\right) \sqrt{2\, g\, \Delta h}$$

Em vez de um simples orifício pode usar-se qualquer dos tipos de tubuladuras já consideradas da II parte, os quais darão origem a maiores ou menores perdas de carga. Para as reduzir, convém utilizar a tubuladura de Venturi.

2 — *Método de Tubuladura de Venturi* (fig. 63)

Este caso é análogo ao anterior, mas não há coeficiente de contracção porque d_o é o diâmetro inferior do tubo, logo,

$$U_A = C_v \sqrt{\frac{2\, g\, (z + \Delta h)}{\frac{d^4}{d_o^4} - 1}} \sim$$

$$\sim C_v \left(\frac{d_o}{d}\right)^2 \sqrt{2\, g\, (z + \Delta h)}\ ,$$

sendo C_v, como se sabe, aproximadamente, igual a 0.98.

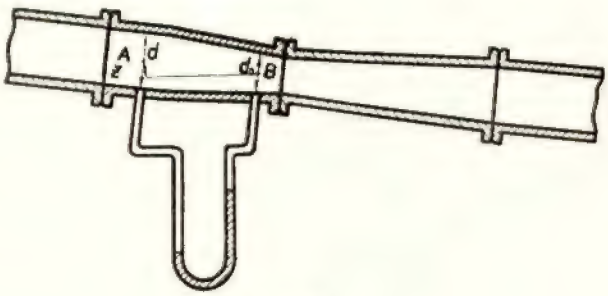


Fig. 63

A tubuladura de Venturi tem de ser rigorosamente calibrada e proporcionada para a canalização. Portanto, em geral, tem de ser comprada a um fabricante especializado e, por isso, a sua instalação fica cara. Mas, como não dá origem a perdas de carga, há sempre vantagem em utilizá-la sempre que tenha de ser montada de um modo permanente, reservando-se o orifício para o caso de medidas acidentais.

Em qualquer destes tipos a subida da coluna pode accionar um dispositivo mecânico ou eléctrico que faça mover um ponteiro e, assim, a velocidade pode ser dada pela leitura de uma escala.

b) *Cálculo de velocidades relacionando a pressão estática com a dinâmica*

Como se viu a, inserção do um tubo perpendicularmente à canalização permite ler a altura $H_1 = \frac{p}{\gamma}$, corresponde à pressão estática. Se se colocar o tubo paralelamente à canalização (fig. 64) a leitura do manómetro indica a altura correspondente à soma

$$H_2 = \frac{1}{2g} U^2 + \frac{p}{\gamma},$$

e, portanto a pressão dinâmica.

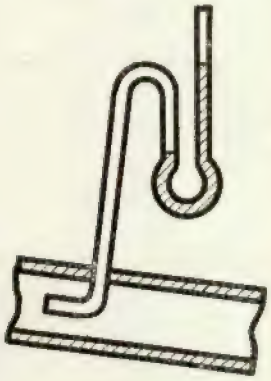


Fig. 64

A diferença

$$\Delta H = H_2 - H_1 = \frac{U^2}{2g}$$

e, portanto,

$$U = \sqrt{2 g \Delta H}.$$

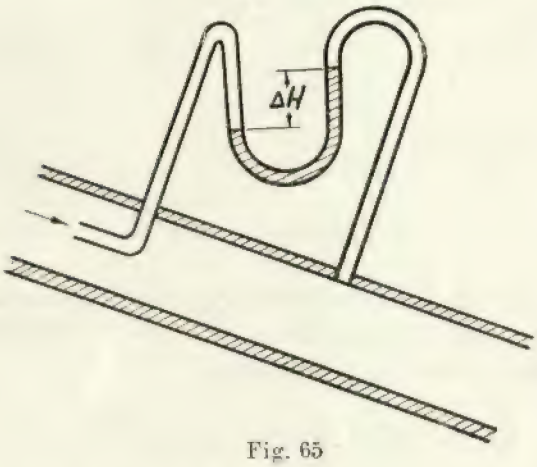


Fig. 65

Em geral, a leitura é feita sobre o mesmo tubo manométrico (tubo de Pitot — fig. 65).

A realização prática do tubo de Pitot consiste em dois tubos concêntricos dos quais, o exterior tem uns orifícios que permitem medir a pressão estática sendo o interior destinado á pressão dinâmica. (fig. 66).

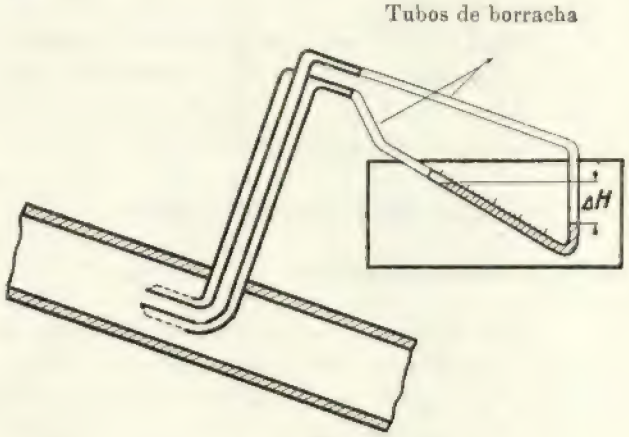


Fig. 66

Desligando cada um dos tubos pode determinar-se, separadamente, a pressão estática e a dinâmica.

CAPÍTULO III

MEDIÇÃO DE CAUDAIS

a) *Por medição directa*

Consiste em receber num recipiente um volume conhecido v durante o tempo t. O caudal será

$$Q = \frac{v}{t}$$

b) *Por cálculo a partir do conhecimento das velocidades*

Determinada a velocidade U numa secção de área S, o caudal será

$$Q = US$$

c) *Contadores*

Consistem numa caixa com um órgão móvel (rotativo ou oscilante) através do qual passa todo o volume do líquido. O número de rotações ou de oscilações

desse órgão móvel mede o volume do líquido que passou e é registado como em qualquer contador.

Como é natural, há variadíssimos tipos de contadores que não se descrevem porque se encontram nos livros sobre transporte de fluídos [1].

Estes contadores compram-se a fabricantes especializados e vêm já completamente aferidos, sendo só necessário montá-los na canalização o que não dá trabalho nenhum.

d) *Aparelhos de área variável*

1 — *De êmbolo*

Têm a forma de uma válvula cónica em que a válvula está montada num veio que pode ter movimento na direcção vertical de modo a poder descer ou subir consoante o caudal diminui ou aumenta. A altura do êmbolo dá a medida do caudal, numa escala encostada ao êmbolo.

2 — *Rotâmetro*

O rotâmetro é um aparelho que funciona do seguinte modo (fig. 67):

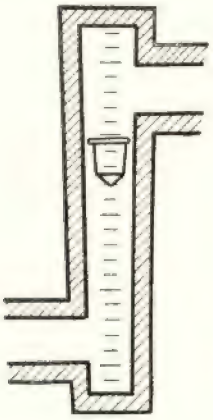


Fig. 67

Há uma bóia com forma semelhante à indicada, feita de materiais de densidades variáveis entre 1,25 (bakelite) a 21 (platina), a qual se pode mover um recipiente transparente em forma de tronco de cone com a base maior em cima.

O líquido passa no espaço anular entre a bóia e a parede interior e levanta tanto mais a bóia quanto maior for o caudal, porque, deste modo aumenta o espaço anular. Quando a passagem do líquido cessa, a bóia descansa na parte inferior.

A bóia tem umas estrias inclinadas de modo que o líquido ao passar, imprime-lhe um movimento de rotação que faz com que se mantenha centrada. É esse facto que justifica o nome de rotâmetro.

2) *Diques*

Empregam-se para correntes em canais abertos (fig. 68):

O dique tem um encaixe de largura L e a altura H do líquido será tanto maior quanto maior for o caudal.

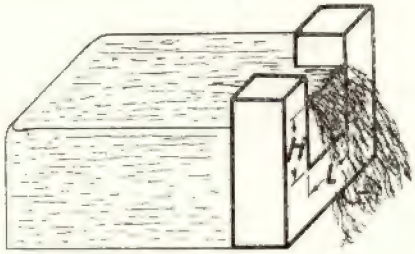


Fig. 68

Tratando o caso, como a descarga por um orifício rectangular, o caudal será, como vimos (capítulo III da I parte),

$$Q = \frac{2}{3}\, c \sqrt{2g}\, L\, H^{3/2}$$

Como $c \sim 0{,}61$,

$$Q = 0{,}415 \sqrt{2g}\, L\, H^{3/2}$$

Mostra a experiência que há uma certa contracção na largura, aproximadamente igual a $0{,}2\,H$ e, portanto,

$$Q = 0{,}415 \sqrt{2g}\, (L - 0{,}2\,H)\, H^{3/2},$$

expressão que é conhecida pela fórmula de Francis.

[1] Em especial «Chemical Machinery» de Raymond Riegel e «Elements of Chemical Engineering» de Badger and Mc Cabe.

É mais conveniente usar um entalhe triangular isósceles de ângulo no vértice α e com o vértice no ponto inferior (fig. 69), porque é mais rigoroso para caudais pequenos.

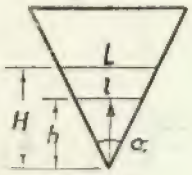


Fig. 69

Neste caso

$$Q = c \int_0^H \sqrt{2gh}\, l\, dh$$

Mas

$$l = 2h \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

e

$$Q = 2c \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \sqrt{2g} \int_0^M h^{3/2}\, dh = \frac{4}{5} c \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \sqrt{2g} H^{5/2}$$

Para $c = 0{,}61$ será

$$Q = 0{,}485 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \sqrt{2g}\, H^{5/2}$$

Atendendo à contracção lateral, a experiência aconselha certas alterações nesta fórmula, dando-lhe a forma seguinte:

$$Q = 0{,}31 \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}\right)^{0{,}996} \sqrt{2g}\, H^{2{,}47}$$

BIBLIOGRAFIA [1]

«Cálculo Diferencial, Integral e das Variações», pelo Dr. A. de Mira Fernandes, (curso do I. S. T.)

«Mecânica Racional», Idem

«Elements of Chemical Engineering», por Badger and Mac Cabe, edição de Mc Graw-Hill Book Company.

«Chemical Engineering Plant Design» por Frank C. Vilbrandt, edição de Mc Graw-Hill Book Company.

«Compêndio de Tecnologia Química» por F. A. Henglein, edição de Manuel Marin, Barcelona.

«Chemical Engineers' Handbook» por J. Perry and W. S Calcott, edição de Mc Graw-Hill Book Company.

«Las Operaciones y los Aparatos Químicos» pelo Dr. J. González del Tánago, da Editorial Dossat, Madrid.

«Chemical Machinery», por Emil Raymond Riegel, edição da Reinhold Publishing Corporation.

«Handbook of Chemical Engineering» por Donald Liddell, edição de Mc Graw-Hill Book Company.

«Handbook of Chemistry» por Norbert Lange, edição de Handbook Publishers, inc. (Sandusky, Ohio)

«Piping Handbook» por Sabin Crocker, edição de Mc Graw-Hill Book Company.

«Curso de Hidráulica do I. S. T».

«Hidrodynamics» por Sir Horace Lamb, edição de Dover Publications, New York.

«Cours de Mecanique» por A. Bazard, edição de Albin Michel, Paris.

«Bombas Centrífugas» por L. Quantz, edição Labor.

«Chemical Engineering for Production Supervision» por David E. Pierce, edição de Mc Graw-Hill Book Company.

[1] Dos livros indicados, o melhor quanto a indicações práticas de uso corrente é o «Chemical Machinery» de Raymond Riegel.

APÊNDICE

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONTRACÇÃO A PARTIR DA TEORIA DAS FUNÇÕES ANALÍTICAS

a) *Caso de um simples orifício no fundo de um recipiente plano*

Consideremos a função

$$\varphi + i\psi = f(x + iy) \quad \text{(pág. 178)}$$

que se pode escrever sob a forma

$$w = f(z) \ .$$

Como se sabe [1]

$$\frac{dw}{dz} = \frac{\partial \varphi}{dx} + i \frac{\partial \psi}{dx} = i \left(\frac{\partial \varphi}{dy} + i \frac{\partial \varphi}{dy}\right) = u + iv =$$

$$= \text{mod } V (\cos \theta + i \operatorname{sen} \theta)$$

[1] Cálculo integral — Funções analíticas.

Fazendo $\xi = \frac{dz}{dw}$,

ter-se-á

$$dz = \xi\, dw \quad e \quad z = \int \xi\, dw \ .$$

Resta para efectuar a integração relacionar ξ e w

$$\xi = \frac{dz}{dw} = \frac{1}{u + iv} = \frac{u - iv}{(\text{mod } V)^2} =$$

$$\frac{\text{mod } V\,[\cos(-\theta) + i \operatorname{sen}(-\theta)]}{(\text{mod } V)^2} = \frac{1}{\text{mod } V} e^{-i\theta}$$

e, portanto, $\text{mod } \xi = \frac{1}{\text{mod } V}$

Consideremos agora o caso particular da fig. 10 da pág. 179.

As linhas de corrente extremas dentro do recipiente acompanham a parede do fundo e à saída, são linhas em todas as quais o líquido tem a mesma velocidade em valor absoluto.

Quer dizer que, à saída do orifício, mod V = constante, portanto mod ξ é constante e, se representarmos ξ, no plano complexo o lugar geométrico dos afixos de ξ, será uma circunferência de raio $\frac{1}{\text{mod } V}$ (fig. 1);

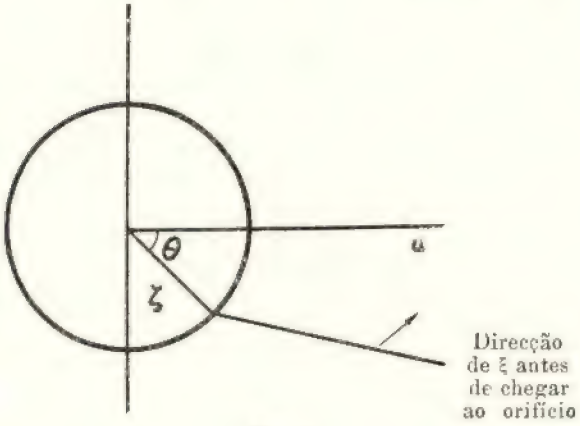


Fig. 1

mas, como a parede do fundo é horizontal, as linhas de corrente antes do orifício são horizontais e a fig. 1 transforma-se na fig. 2.

É mais cómodo trabalhar com a função log ξ que será

$$\log \xi = \log\left(\frac{1}{\text{mod } V}\right) - i\theta$$

Quando a direcção das linhas de corrente extremas é horizontal $\theta = o$ ou $\theta = \pi$ e portanto a coordenada segundo o eixo dos vv de log ξ será sempre O ou $-\pi$, o que significa

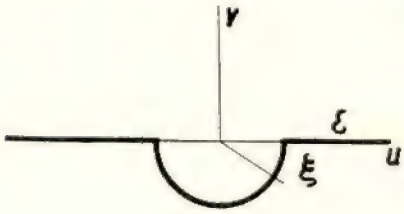


Fig. 2

que o lugar geométrico dos afixos de log ξ é constituído por duas paralelas ao eixo dos uu; quando mod V = constante o lugar geométrico dos afixos é uma recta paralela ao eixo dos vv e a uma distância deste eixo igual a log $\frac{1}{\text{mod } V}$ (fig. 3).

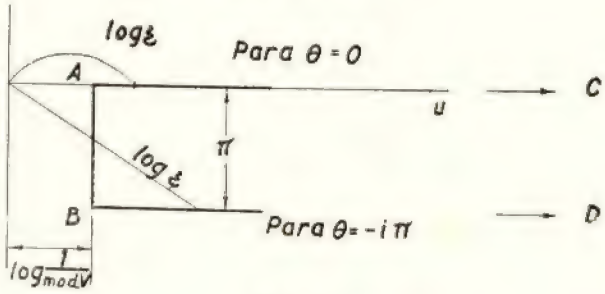


Fig. 3

Por outro lado, a equação das linhas de corrente é

$$\frac{dx}{u} = \frac{dv}{v}$$

ou

$$v dx - u dy = 0$$

Mas, como vimos, no caso que estamos a considerar

$$v dx - u dy = d\,\psi$$

e, portanto a equação das linhas de corrente será

$$\psi = \text{constante} = \psi_o \ .$$

As linhas de corrente extremas no percurso no fundo do recipiente são horizontais

e, portanto $v = 0$, ou

$$-u dy = d\psi$$

ou

$$\psi = \int -u dy = \psi_0$$

Mas, as velocidades das linhas de corrente nos dois lados do orifício são iguais e de sinais contrários e, portanto, os valores de ψ para essas linhas de corrente serão ψ_0 e $-\psi_0$. Logo os valores de $w = \varphi + i\psi$ para esses valores de ψ estarão sobre 2 paralelas ao eixo dos $\varphi\varphi$ (fig. 4)

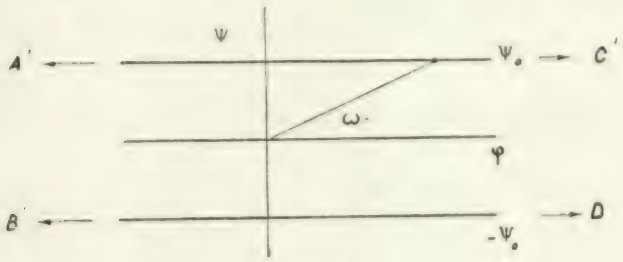


Fig. 4

Resta só estabelecer a relação $\log \xi = f_1(w)$.

Como $\log \xi$ e w são funções analíticas as rectas correspondentes passando por um ponto do plano (u, v) e pelo ponto correspondente do plano (φ, ψ) fazem entre si ângulos iguais (transformação conforme) [1]. O problema resume-se em estabelecer a relação entre um rectângulo de vértices nos pontos $A\left(\frac{1}{\text{mod } V}, o\right)$; $B\left(\frac{1}{\text{mod } V}, -\pi\right)$; c $(\infty, 0)$ e $D(\infty, -\pi)$ e outro rectângulo de vértices uns pontos $A'(-\infty, \psi_0)$; $B'(-\infty, -\psi_0)$; $C'(\infty, \psi_0)$; $D'(\infty, -\psi_0)$.

A relação estabelece-se fazendo a representação conforme de cada um destes rectângulos sobre o semi-plano superior, por intermédio de uma variável t.

Demonstra-se [2] que a representação conforme de uma área rectangular sobre o semi-plano superior é da forma.

$$Z = A \int \frac{dt}{\sqrt{(a-t)(b-t)(c-t)(d-t)}} + B$$

(1) Cálculo Integral — Funções analíticas (representação conforme).

(2) Esta demonstração já não chega a fazer-se na teoria das funções analíticas do I. S. T.

Aplicando esta expressão ao nosso problema ter-se-á:

I — *Para log* ξ

Como há dois pontos no infinito, dois dos termos do radical desaparecem; por outro lado, pode escolher-se $a = 1$ e $b = -1$. Sendo assim,

$$\log \xi = A \int \frac{dt}{\sqrt{t^2 - 1}} + B$$

ou

$$\log \xi = A \arg \text{ch}\, t + B$$

As condições impostas são, por comodidade:

$$\begin{cases} t = -1 \\ \log \xi = \log \dfrac{1}{\text{mod } V} \end{cases} \quad e \quad \begin{cases} t = 1 \\ \log \xi = \log \dfrac{1}{\text{mod } V} - i\pi \end{cases}$$

Logo

$$\begin{cases} \log \dfrac{1}{\text{mod } V} = i\pi A + B \quad (1) \\ \log \dfrac{1}{\text{mod } V} - i\pi = B \end{cases}$$

de onde se tira

$$\begin{cases} A = 1 \\ B = \log \dfrac{1}{\text{mod } V} = i\pi \end{cases}$$

Portanto

$$\log \xi = \arg \text{ch}\, t + \log \frac{1}{\text{mod } V} - i\pi$$

II — *Para* ψ

Neste caso, a representação conforme pode fazer-se considerando dois pontos coincidentes para $t = 0$.

Sendo assim

$$\psi = A \int \frac{dt}{t} + B = A \log t + B$$

Condições impostas:

$$\begin{cases} t = 1 \\ w = \varphi - i\psi_0 \end{cases} \quad e \quad \begin{cases} t = -1 \\ w = \varphi + i\psi_0 \end{cases}$$

Admitindo que a equipotencial é $\varphi = o$, será

$$\begin{cases} t = 1 \\ w = -i\psi_0 \end{cases} \quad \begin{cases} t = -1 \\ w = i\psi_0 \end{cases}$$

(1) Matemáticas gerais — Funções hiperbólicas de complexos.

Logo

$$\begin{cases} -i\,\psi_0 = B \\ i\,\psi_0 = i\,\pi\,A + B \end{cases}$$

de onde se terá

$$\begin{cases} A = \dfrac{2\,\psi_0}{\pi} \\ B = -\,i\,\psi_0 \end{cases}$$

Logo

$$w = \frac{2\psi_0}{\pi}\log t - i\,\psi_0$$

Resta só eliminar t entre ξ e w

Para isso, há vantagem em fazer duas alterações nestas expressões. Em primeiro lugar, considerar mod V = 1 , o que não altera o raciocínio, mas faz desaparecer o termo $\log \frac{1}{\text{mod } V}$; em segundo lugar substituir $2\,\psi_0$ por 2 b, sendo b a largura final da veia líquida, como se viu (fig. 10 da I parte).

Será, pois

$$\begin{cases} \log \xi = \arg \text{c h } t - i\,\pi \\ w = \dfrac{2\,b}{\pi}\log t - i\,b \end{cases}$$

sendo assim, pela expressão inicial de log ξ será para mod V = 1

$$\log \xi = -\,i\,\theta\ ,$$

e, portanto,

$$-\,i\,\theta = \arg \text{c h } t - i\,\pi$$

ou

$$\arg \text{c h } t = i\,(\pi - \theta)$$

e, portanto,

$$t = \cos(\pi - \theta) = -\cos\theta\ (^1)$$

e, finalmente

$$w = -\,\frac{2\,b}{\pi}\log(-\sec\theta) - i\,b\ .$$

Mas, como vimos,

$$w = \varphi - i\,\psi_0 = \varphi - i\,b\ .$$

(1) Matemáticas gerais — Funções hiperbólicas de complexos.

Portanto

$$\varphi = -\,\frac{2b}{\pi}\log(-\sec\theta)$$

Por outro lado,

$$\text{mod } V = \frac{d\,\varphi}{d\,s}\ ,$$

sendo d s a diferencial do arco. Como mod V = 1 , será

$$d\,\varphi = -\,d\,s$$

e, portanto,

$$\varphi = -\,s$$

Logo

$$s = \frac{2\,b}{\pi}\log(-\sec\theta)\ ,$$

Desta equação conclui-se

$$\begin{cases} x = \dfrac{4\,b}{\pi}\,\text{sen}^2\,\dfrac{1}{2}\,\theta \\ y = \dfrac{2\,b}{\pi}\left[\log \text{tang}\left(\dfrac{\pi}{4} + \dfrac{\theta}{2}\right) - \text{sen}\,\theta\right] \end{cases}\ ,$$

como já tínhamos visto.

b) *Caso de tubuladura de Borda*

O problema é análogo e só difere nas constantes.

Consideremos a tubuladura de Borda (fig. 5).

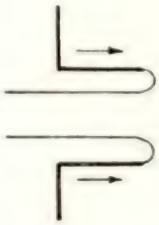


Fig. 5

Neste caso, as linhas de corrente extremas são também horizontais na parte em contacto com as paredes mas diferem de $2\,\pi$.

Portanto a representação de log ξ será a da fig. 6.

Portanto as condições impostas são as seguintes:

$$\begin{cases} t = -1 \\ \log \xi = -\,2\,\pi\,i \end{cases} \qquad \begin{cases} t = 1 \\ \log \xi = 0 \end{cases}$$

Portanto

$$\begin{cases} B = o \\ -2\pi i = \pi i A + B \end{cases} \quad \text{de onde} \quad \begin{cases} A = -2 \\ B = o \end{cases}$$

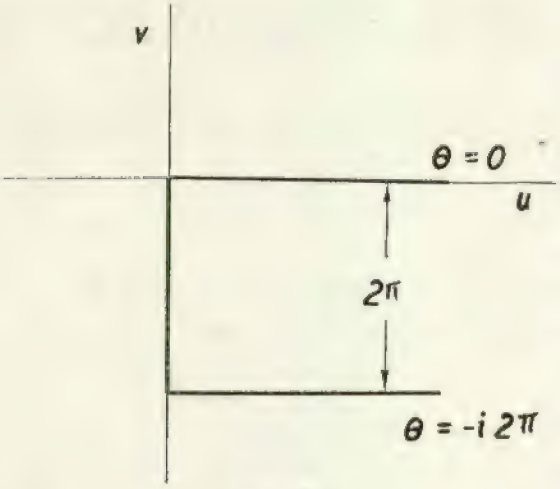


Fig. 6

Portanto

$$\log \xi = -2 \arg \operatorname{ch} t$$

A 2.ª equação é análoga e, portanto

$$w = \frac{2b}{\pi} \log t - i b$$

Como $\log \xi = -i\theta$, será

$$-i\theta = -2 \arg \operatorname{ch} t$$

ou

$$t = \cos \frac{\theta}{2}$$

Portanto

$$w = \frac{2b}{\pi} \log \cos \frac{\theta}{2} - i b = \varphi - i b ,$$

ou

$$s = -\varphi \frac{2b}{\pi} \log \sec \frac{\theta}{2} ,$$

de onde se deduzem as equações paramétricas

$$\begin{cases} x = \dfrac{2b}{\pi} \left(\operatorname{sen}^2 \dfrac{\theta}{2} - \log \sec \dfrac{1}{2} \theta \right) \\ y = \dfrac{b}{\pi} \left(\theta - \operatorname{sen} \theta \right) \end{cases}$$

variando θ entre O e π.

Para $\theta = \pi$ há uma assintota para a qual $y = b$.

O coeficiente de contracção, será, pois,

$$m = \frac{2b}{4b} = \frac{1}{2}$$

Acaba de aparecer:

TOPOGRAFIA GERAL

PELO ENGENHEIRO

CARVALHO XEREZ

LES APPLICATIONS DE LA MECANIQUE DES SOLS A L'ETUDE DES FONDATIONS

PAR A. MAYER

Inspecteur Général des Mines

C. D. 624.131.7

Conferência realizada no dia 27 de Fevereiro, no Instituto Superior Técnico, sob a presidência do Prof. Eng.° Belard da Fonseca, director do instituto

MONSIEUR LE DIRECTEUR,
MESSIEURS,

C'est un lieu commun pour un conférencier lorsqu'il se présente devant un auditoire, que d'exprimer son plaisir à se trouver devant lui.

Je voudrais que vous sachiez aujourd'hui à quel point ces sentiments sont sincères, et quelle est ma joie de prendre la parole devant vous.

J'ai eu en effet le plaisir, ces jours derniers de prendre contact avec votre eminent Directeur, et avec certaines personnalités de cet Institut, em particulier avec Monsieur l'Ingénieur Rocha, et j'ai éte vivement impressioné par leurs connaissances éminentes des questions qu'ils avaient la charge d'enseigner, aussi bien que par la largeur de leur esprit et la merveilleuse connaissance du français et des choses françaises, que j'ai trouvées si générales ici.

En particulier le Laboratoire de M. Rocha m'a très vivemente impressionné, en ce que toutes les recherches qu'on y poursuit sont de première importance et du plus haut interêt. Je sais que à côté du Laboratoire de M. Rocha il y a à Lisbonne un laboratoire d'essais de matériaux dirigé par M. Fernandes, dont j'ai eu le plaisir de faire la connaissance voici près de 10 ans à l'occasion du Congrès de la Route à La Haye. Je compte visiter son laboratoire égalemente; je suis sûr qu'il complète utilement la remarquable organisation de recherches que vous avez ici, et dont je félicite très sincèrement les dirigeants de votre grand Institut Techique.

*

La mécanique des sols est née du besoin qu'ont éprouvé les constructeurs, de preciser les conditions d'établissement des fondations en terrains difficiles.

A mesure que les villes se développaient, des terrains, considérés autrefois comme impropes à la construction, devaient être utilisés, et, spécialement aux abords des fleuves et à leur embouchure, des constructions importantes ont dû être élevées sur des apports récents: sable fin ou vase, qui constituaient des terrains de fondation médiocres.

De nombreux problèmes se sont posés aux Ingénieurs, qui ne pouvaient être résolus par les méthodes classiques. Ç'aura été l'honneur de M. Terzaghi d'aborder d'une façon systématique l'étude de ces problèmes, et d'en donner le premier des solutions satisfaisantes.

Nous ne nous proposons pas aujourd'hui de reprende les théories qui permettent d'établir les formules donnant les charges limites que peut supporter un terrain de caractéristique données, ni celles qui permettent de calculer les tassements en fonction du temps d'un édifice imposant une charge connue sur un terrain connu également pas plus que les expressions donnant, en fonction des caractéristiques du sol, la résistance des

pieux, battus ou forés. Chacun d'entre vous peut trouver dans les traités spéciaux, la démonstration des formules dont nous appliquerons certaines aujourd'hui. Nous voudrions surtout tirer de l'expérience des études pratiques faites à notre Laboratoire, quelques exemples qui montrent les résultats que l'on peut obtenir et les méthodes que l'on peut appliquer pour l'étude des fondations en terrains moyennement compressibles, en terrains très compressibles et dans le cas de fondations profondes.

Cas des terrains moyennement compressibles. Etude des tassements.

L'étude d'une fondation sur um terrain moyennement compressible comporte la détermination de la charge que peut supporter le sol aux diverses profondeurs, ensuite, le calcul des tassements que la fondation éprouvera sous cette charge.

La présentation même des questions, telle que nous venons de les exposer, diffère de celle qui était traditionnelle jusqu'ici. A la question : «Combien un sol déterminé peut-il porter?», nous avons substitué la question «Si nous imposons à un sol de caractéristiques données, une charge donnée, qu'en résultera-t-il et quelle sera l'amplitude des déformations de la fondation?

L'étude correspondante comporte trois stades sucessifs :

D'abord, la détermination de la limite des déformations élastiques d'un sol déterminé sous une certaine charge ;

ensuite, la détermination du poinçonnement de ce sol ;

enfin, la charge étant supposée déterminée, le calcul du tassement du sol en fonction du temps et la prévision des tassements.

Limite des deformations élastiques et limite de poinçonnement sont des grandeurs connues de tout temps et que le Constructeur cherchait autrefois à déterminer au moyen de l'essai de table classique, en traçant la courbe des enfoncements de la table sous des charges sucessives. La courbe avait une allure grossièrement parabolique, et l'on avait, depuis longtemps, observé que pour de faibles charges les déformations étaient reversibles, tandis que lorsque la charge augmentait, elles cessaient de l'être et le plateau s'enfonçait en refoulant le terrain sur les côtés.

D'éminents Ingénieurs ont donné, en fonction des caractéristiques du sol, cohésion et angle de frottement interne, la valeur de la limite des déformations élastiques et de la limite de poinçonnement du terrain.

Si l'on apelle p_0 la charge du terrain à une profondeur déterminée h , p la charge correspondant à la limite des déformations élastiques, C la cohésion, et φ l'angle de frottement interne, M. Pigeaud, puis M. Froehlich ont donné l'expression

$$Q = \frac{\pi (p_0 + C)}{\cot \varphi - \left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)}$$

Avec les mêmes notations, et en désignant par P la limite de poinçonnement du terrain considéré à la même profondeur, Mr. Prandlt et M. Caquot ont donné la valeur de P

$$P = p_0 \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) e^{\pi \operatorname{tg} \varphi}$$

L'expérience montre que, pour des valeurs de l'angle de frottement interne de l'ordre de 20 à 30°, le rapport entre la limite des déformations élastiques et la limite de poinçonnement est comprise entre 3 et 4. Pour calculer la charge que peut effectivement supporter un terrain déterminée, on pourra donc indifféremment apliquer l'une ou l'autre méthode, étant entendu que la limite des déformations élastiques peut être prise sans application de coefficient de sécurité et qu'au contraire, lorsqu'on détermine la limite de poinçonnement, il faut appliquer à celle-ci un coefficient de sécurité de l'ordre de 4 pour connaître la charge que l'on doit appliquer au terrain en question.

Ayant ainsi calculé la charge admissible, on peut se demander quels seront les tassements qui en résulteront. M. Terzaghi a, le premier, donné une méthode permettant de résoudre ce problème. Nous en indiquerons très rapidement le principe.

Un terrain compressible, c'est-à-dire, en général, une masse argileuse, est constitué presque toujours par un édifice d'éléments solides saturés d'eau. Selon la nature du terrain, les éléments solides afectent des formes différentes, sont groupés suivant des édifices d'aspects divers, mais toujours les vides, si le terrain est compressible, sont plus ou moins saturées d'eau. L'élément liquide qui lubréfie et permet les déplacements des éléments solides les uns par rapport aux autres, conditione presque toujours la compressibilité et les seules masses pulvérulentes et compressibles à l'état sec sont celles où une abondance de lamelles de mica se substitue à l'élément liquide pour permettre le glissement des particules les unes par rapport aux autres, et rendre possible la compression.

L'analyse de M. Terzaghi consiste à suivre les conditions dans lesqueles se transmet, à l'intérieur d'une masse constitué par des éléments solides saturés d'eau, une charge appliquée en surface.

Supposons une couche compressible à laquelle on applique brusquement une charge superficielle. La charge est tout d'abord supportée intégralement par l'élément le moins compressible qui est l'eau. Si les édifices qui contiennent cette eau étaient tous fermés, c'est-à-dire s'il n'y avait aucune possibilité de circulation du liquide à travers la masse, cette eau se mettrait en pression et reporterait sur les couches inférieures la charge appliquée en surface. Mais il n'en est pas ainsi dans les terrains compressibles où l'eau circule plus ou moins vite selon la perméabilité. Aussitôt aprés l'imposition de la charge, l'eau prend une pression que l'on peut mesurer au moyen de tubes piézométriques enfoncés dans le sol. Mais progressivement l'eau s'écoule et la charge, que primitivement elle supportait seule, est peu à peu reportée sur les éléments naturels fins au contact et forme des voûtes à l'intérieur même de la masse. Au bout d'un certain temps, la pression interne de l'eau diminue, l'écoulement s'arrête, la charge est entièrement reportée sur les édifices solides, et le terrain est en équilibre.

La connaissance de la permeabilité du terrain permet de calculer, en fonction de la charge, la hauteur de la couche compressible et la répartition de la charge entre l'eau incluse et les éléments solides. La théorie permet également, en fonction des mêmes caractéristiques, de calculer le tassement que produira la charge apliquée en surface.

Nous nous proposons de donner ici un exemple d'un pareil calcul.

Lors de la construction du Barrage du Ghrib, en Afrique du Nord, cet ouvrage, un Barrage en enrochements, avait été assis sur une dalle en béton reposant sur une marne extrêmement compacte. Les auteurs du projet avaient espéré que la compacité de la marne et l'effet de répartition de la dalle en béton aidant, l'ouvrage serait stable et ne subirait que des tassements insignifiants. Il avait toutefois été prévu, á l'intérieur de la masse, une cheminée destinée à permettre, au cours de la construction d'abord, et de la mise en eau ensuite, des mesures de tassement de la base de l'ouvrage.

A peine l'ouvrage était-il construit que des tassements, relativement importants, étaient signalés. Notre Laboratoire, qui n'existait à l'époque que depuis peu, était appelé à prélever des échantillons de marne et à étudier le probleme. Le prélèvement fut extrêmement difficile en raison de la compacité de la marne et de la nécessité d'obtenir des échantillons intacts. On y réussit cependant. Il fallut faire coustruire des oedomètres en acier susceptíbles d'être chargés à des pressions extrêmements élevées puisque la charge normale à la base de l'ouvrage devait être de l'ordre de 12 kg. Et lorsqu'on entreprit de tracer la courbe des tassements calculés en fonction du temps, on constata que celle-ci coïncidait de façon très satisfaisante avec les tassements observés.

La présence du radier en béton avait pour effet de ralentir les tassements jusqu'au moment où la ruptnre se produisait dans le radier. A ce moment, la charge appliquée au terrain, au centre de l'ouvrage, augmentait brusquement; il en résultait un tassement brusque. La courbe s'infléchissait brus-

quement vers le bas pour tendre ensuite à se rétablir horizontalement plus vite que ne l'aurait voulu la théorie.

Il est trés remarquable de constater que la courbe de prévision des tassements, telle qu'elle a été tracée en 1936 et présentée à l'époque au Congrès des Grands Barrages à Washington, a pu être observée et poursuivie au cours des 10 dernières années, et l'on voit à quel point la coïncidence est remarquable, si l'on tient compte des équilibres successifs produits par la présence du radier et de l'effet de charge brutal qui résulte de la fragmentation progressive de ce radier, qui survient chaque fois qu'une charge nouvelle lui est appliquée.

Cette vérification de la théorie des tassements, une des plus remarquable que nous ayons eu l'occasion d'observer, en raison du temps écoulé depuis les premières mesures, sera le seul exemple que nous donnerons de l'application de la mécanique du sol à la construction des édifices ou des ouvrages sur des sols moyennement compressibles.

Cas de fondation sur des terrains très compressibles Fondations flottantes.

Nous n'avons envisagé jusqu'ici que le cas des terrains dans lesquels le mouvement de l'eau sous une charge s'effectue suivant l'hypothèse de M. Terzaghi, c'est-à-dire sans déplacement relatif des éléments solides. Cette hypothèse ne s'applique pas dans le cas des dépôts récents de vase ou de sable argileux, tels qu'on les rencontre dans de nombreux estuaires ou au bord de certaines rivières. Dans ce cas, cette vase est à ce point plastique, qu'une surcharge, même légère, provoquera un écoulements d'ensemble, sans que l'un pnisse parler de déformation élastique ou de poinçonnemente.

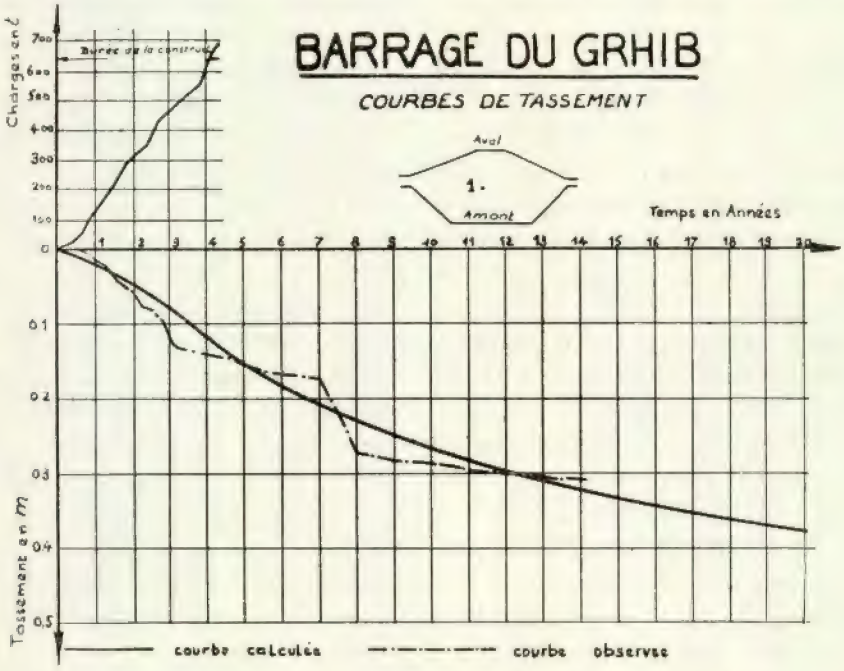


Fig. 1

Lorsque la vase est, comme ce fut le cas dans une étude que nous avons eu l'occasion de faire pour des Silos à Bassorah, d'une profondeur de 100 m., la construction de l'ouvrage présente des difficultés réelles. Le principe, dans ce cas, est d'empêcher l'écoulement de la vase en enfermant celle-ci, autant que possible, au moyen par exemple d'un rideau de palplanches, et d'éviter de la surcharger en excavant un volume de poids approximativement égal à celui que l'on ajoute. Le principe adopté en l'espèce,, est celui du bateau flottant sur la vase. Les précautions à prendre concernent, avant tout, la rigidité à la fondation qui doit s'opposer à tout tassement inégal correspondant aux charges appliquées. L'exemple des silos étu-

diés par notre Laboratoire pour Bassorah est, à cet égard. caractéristique.

Le problème était complexe. Il fallait, sur une vase indéfinie, réaliser une construction de plus de 23m. de haut, destinée à être chargée de façon systématiquement inégale, puisque les différents silos qui constituaient l'ensemble devaient pouvoir indifféremment être pleins ou vides. La solution adoptée avait été de constituer une fondation par un radier de grade hauteur, entouré d'une enceinte de palplanches, reliée à lui de façon rigide, et enfoncé d'une profondeur suffisante dans la vase pour que les couches servant de support soient à peine surchargées par l'ouvrage. Le radier, d'une hauteur de 2 étages, avait été cloisonné et divisé en chambres étanches, de manière à pouvoir, tout en suivant constamment les mouvements de la construction, remplir d'eau certains éléments de la fondation, de façon à assurer l'équilibre de l'ensemble.

Nous avons eu tout récemmente, l'occasion d'examiner plusieurs cas analogues, qui ont été résolus dans le même esprit.

D'abord le cas d'un bâtiment de cuves destiné à être élevé en Indochine sur une vase analogue à celle de Bassorah. La solution adoptée a été voisine de la première : un radier constitué par une série de voûtes inversées, entouré d'une ligne de palplanches.

Citons aussi, une des plus importantes Centrales de la région parisienne, dont l'étude des fondations est en cours à notre Laboratoire. Le sol constitué par un sable très fin surmontant une argile plastique ne peut être considéré comme très compressible. La ceinture de palplanches, qui avait été prévue dans les cas de vase, a été supprimée. La fondation a été remontée dans toute la mesure du possible, de manière à reduire les tassements dus à l'argile, et l'assise de l'ouvrage, sur une hauteur d'une dizaine de mètres, a été solidarisée de façon à constituer une poutre formant un radier rigide.

Tels sont les quelques exemples de fondations superficielles que nous voulions donner.

Nous avons volontairement supprimé de notre exposé tous calculs de la limite des déformations élastiques, ainsi que tous calculs des tassements. Mais ils ont été faits dans tous les cas. Ils ne présenteront un intérêt qu'une dizaine d'anées après la construction de l'ouvrage, lorsqu'on aura pu vraiment comparer les observations et la réalité,

Fondations profondes

Les dispositifs de fondations profondes, dont les plus employés sont les pieux, sont utilisées, soit pour reporter une charge appliquée en surface sur une couche incompressible ou très peu compressible située à une certaine profondeur, soit, dans le cas où la fondation superficielle étant difficile à réaliser on préfère intéresser les couches supérieures d'un sol compressible à la transmission des charges apliquées en surface.

Les fondations sur pieux ont fait l'objet, au cours des dernières années, d'essais en vraie grandeur qui ont été soit réalisés, soit simplement suivis par notre Laboratoire. Ces essais n'ayant, jusqu'ici, pas fait l'objet de publication, nous en donnerons le compte-rendu, en raison de l'intérêt qu'ils présentent et de la possibilité qu'ils offrent de servir de base à un mode cohérent de calcul de fondations sur pieux.

Les notions théoriques sur lesquelles se basent les calculs de résistance des pieux sont, tout d'abord, celles que nous avons indiquées au début de cet exposé. Ce sont :

— la formule de Froehlich qui donne la limite p des déformations élastiques d'un sol dont la charge initiale, compte tenu de la poussée d'Archimède, est p_0 et les caractéristiques C et φ.

Cette expression, qui n'avait été démontrée que dans le cas des fondations rectilignes, a été étendue par M. Ferrandon au cas des fondations circulaires. On obtient dans ce cas :

$$p = \frac{C \cot \varphi + p_0}{\frac{1}{2} \frac{1 + \sin \varphi}{\sin \varphi} \sqrt{\frac{1 + \sin \varphi}{3 - \sin \varphi}} - 1}$$

De même, la limite de rupture d'un sol, dont la charge initiale est p_0 est

$$p = p_0 \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \operatorname{tg} \varphi}$$

dans le cas d'une fondation rectiligne indéfinie.

M. Caquot a montré que, dans le cas de la fondation circulaire, on avait une expression analogue

$$p = p_0 \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} e^{\frac{\operatorname{tg} \varphi}{5}}$$

L'étude théorique de la résistance à l'enfoncement due au frottement latéral est plus difficile. Dans les terrains sans cohésion, les coefficients de butée ou de poussée, tels qu'ils ont été calculés par Resal et par Krey permettent le calcul de la résistance dans le cas de l'enfoncement ou de l'arrachement des pieux. Lorsqu'il y a cohésion, il faut appliquer le théorème des états correspondants, c'est-à-dire remplacér la cohésion par une contrainte hydrostatique appliquée en chaque point du matériau et égale à

$$H = C \cot \varphi$$

L'application de ce théorème conduit à l'expression suivante de la résistance à l'enfoncement due au frottement latéral d'un pieu foncé dans un milieu de cohésion C et d'angle de frottement interne φ:

$$\rho = K\,(C + \pi\, h \operatorname{tg} \varphi)$$

Elle se deduit de la résistance au cisaillement du milieu considéré, en multipliant cette dernière par un facteur égal à la valeur de la composante normale de la contrainte qui s'exercerait à la profondeur unité sur un élément de surface latéral de pieu dans un milieu pulvérulent ayant même angle de frottement interne.

L'étude de la résistance due au frottement latéral peut être encore compliquée par le fait que certains milieux ne sont pas consolidés, c'est-à-dire que la pression interne de l'eau incluse dans les pores ne correspond pas à la charge des terrains qui le surmontent. Il en est ainsi, en particulier, dans certaines argiles de la région parisienne qui ont, au cours de périodes géologiques supporté des charges supérieures aux charges actuelles et dont l'eau intersticielle n'est pas encore détendue. Lorsqu'on introduit à l'intérieur de ces argiles une vessie manométrique, comme nous avons eu l'occasion de le faire, on constate que cette vessie supporte de la part de l'argile, une pression propre qui est la pression de gonflement de l'argile et qui est indépendante de la hauteur du terrain qui la surmonte. Cette pression d'ailleurs ne joue que lentement, au fur et à mesure que l'équilibre hydrostatique s'établit aux environs du pieu, mais au bout d'un certain temps, elle produit une étreinte sur le corps étranger que l'on y introduit supérieure à celle que l'on atteindrait si l'on n'en tenait pas compte.

A titre d'exemple, nous citerons le cas d'une station du Métropolitain construite dans une argile de cette nature, où l'étude préalable nous avait permis de signaler au constructeur le danger de la pression de gonflement.

Les Ingénieurs chargés des travaux ont cru pouvoir négliger cet élément jusqu'au moment où, plusieurs mois après la terminaison de la voûte, l'argile s'est mise en charge et a produit sur les parois des pressions de l'ordre de 4 kg par cm^2 pour une hauteur de recouvrement de l'ordre d'une quinzaine de mètres. La pression interne de l'argile avait joué aux dépens de la voûte qu'il a fallu renforcer en toute hâte.

Voyons maintenant les essais dont nous voulions rendre compte :

1 — *Essais de Donzere* — Résistance à la pointe

A l'occasion des études faites par la Cie Nationale du Rhone pour l'installation de l'Usine de Donzere, destinée à équiper un Barrage sur le Rhône qui doit être réalisé prochainement, notre Laboratoire a fait une série d'essais de résistance d'une couche de marne plastique située à une dizaine de mètres de profondeur. A cet effet, un pieu a été descendu dans un logement don les dimensions avaient été fixées de maniére à éviter tout contact entre le fût el la paroi, sans cependant permettre le refoulement de la marne entre les bords du trou et la base du pieu. Les caractéristiques de la

marne avaient été soigneusement déterminées. La charge était appliquée au moyen de vérins prenant appui sur une poutre ancrée dans le sol. L'essai a comporté un chargement progressif du pieu avec observation de la stabilisation de celui-ci sous chacune des charges élémentaires et observation des tassements.

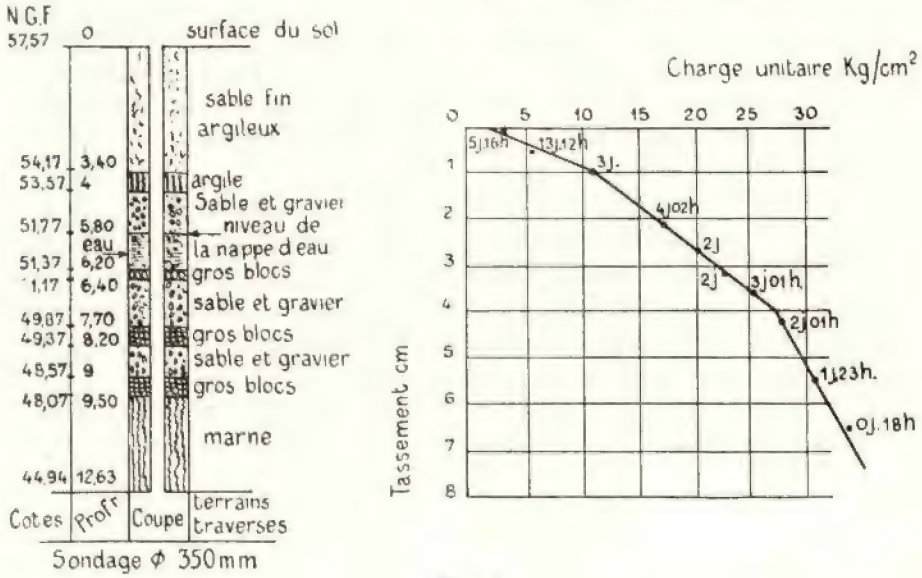


Fig. 2

Le diagramme des essais fait apparaître la courbe constitué par 3 tronçons de droite. Le premier va jusque 11 kg/cm², le 2éme, jusque 28 kg/cm², le 3éme corespond, au poinçonnement du terrain et est pratiquement illimité.

Si l'on prend pour valeur de la cohésion 2 T/m², pour angle de frottement interne 27°, qui sont les chiffres trouvés dans les essais, on constate que la formule de M. Ferrandon donne, tous calculs faits, pour la charge limite des déformations élastiques:

$$Q = 10{,}5 \text{ Kg. par cm}^2$$

tandis que la formule de M. Caquot donne pour la limite de poinçonnement:

$$P = 30{,}5 \text{ Kg. par cm}^2$$

qui correspondent l'une et l'autre à moins de 10 % près, à la valeur trouvée dans l'essai.

2 — *Essais de Gennevilliers* — Résistance à la pointe

Ces essais ont été exécutés pour le compte de la Sté Union d'Electricité par la Sté E. F. T. H., sous la direction de M. Cambefort, Ingénieur de cette Société.

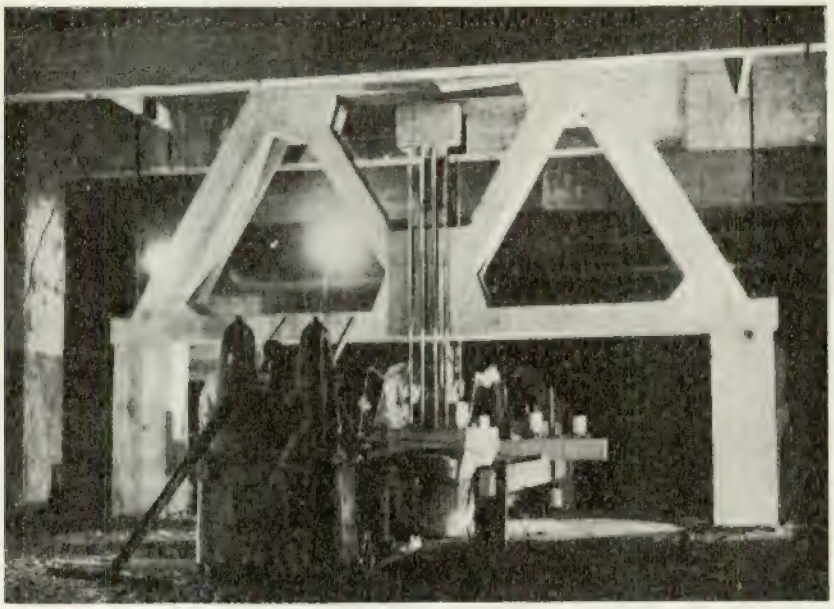
L'Union d'Electricité projetait de reconstruire sa Centrale de Gennevilliers en utilisant certains pieux de fondation d'une ancienne Centrale située sur le même emplacement, et il s'agissait de connaître exactement la force portante des pieux à l'emplacement choisi. Le pieu utilisé pour les essais avait été équipé de manière à mesurer de façon indépendante, le frottement à la pointe et le frottement latéral. A cet effet, le sabot était séparé du pieu par interposition d'un vérin plat, système Freyssinet, relié par un tube à une pompe et à un manomètre. L'enfoncement était obtenu au moyen de vérins placés en tête, appuyés sur une poutre ancrée dans le sol. Les pieux étaient prévus pour transmettre la charge à une couche de sable et gravier en place, à une profondeur de 9 à 10 m.

Les essais de résistance ont confirmé les résultats des essais de Donzere. Les courbes d'enfoncement de la pointe seules comportent 2 points anguleux, le premier correspond au domaine des déformations élastiques du terrain de fondation, comme l'ont montré les chargements et déchargements successifs

auxquels on a pu procéder à l'intérieur de ce domaine, il s'étend de 0 à 9 Tonnes;

On retrouve ainsi l'expression trouvée expérimentalement, ce qui constitue une

↓3 ↓1 ↓3



↑2

Fig. 3 — **Vue d'ensemble**

Au premier plan la pompe des vérins.
1 — Dispositif d'arrachage.
2 — Tube d'entrée de la circulation d'eau chaude.
3 — Tiges de suspension des comparateurs de contrôle des pieux d'ancrage.

ensuite, commence le domaine plastique, de 9 à 35 T., puis, a lieu le poinçonnement, à partir de 35 T (fig. 9).

Il n'a malheureusement pas été possible de mesurers l'angle de frottement des sables et graviers en place, en raison de l'impossibilité de reproduire au Laboratoire le matériau dans l'état où il était dans le sol.

On s'est contenté de chercher à calculer, connaissant la charge de poinçonnement, l'angle de frottement correspondant, et d'utiliser la valeur ainsi trouvée pour déterminer la limite des déformations élastiques et de la comparer au chiffre expérimental.

Partant de la valeur trouvée de 35 T. pour la limite de poinçonnement, on a obtenu un angle de frottement interne ? égal à 36°.

Si l'on parte de cette valeur, la formule de M. Ferrandon donne, por limite du domaine des déformations élastiques:

$$Q = 9 \text{ Kg. par cm}^2$$

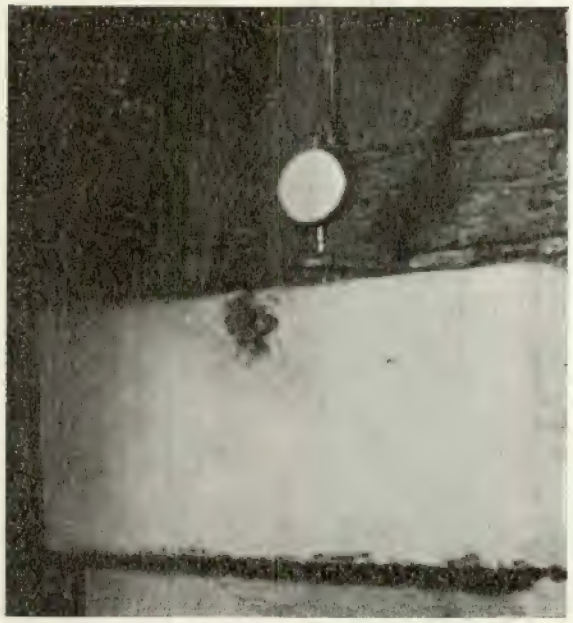


Fig. 4 — **Comparateur de contrôle des pieux d'ancrage**

En dessous tube de sortie de la circulation d'eau chaude.

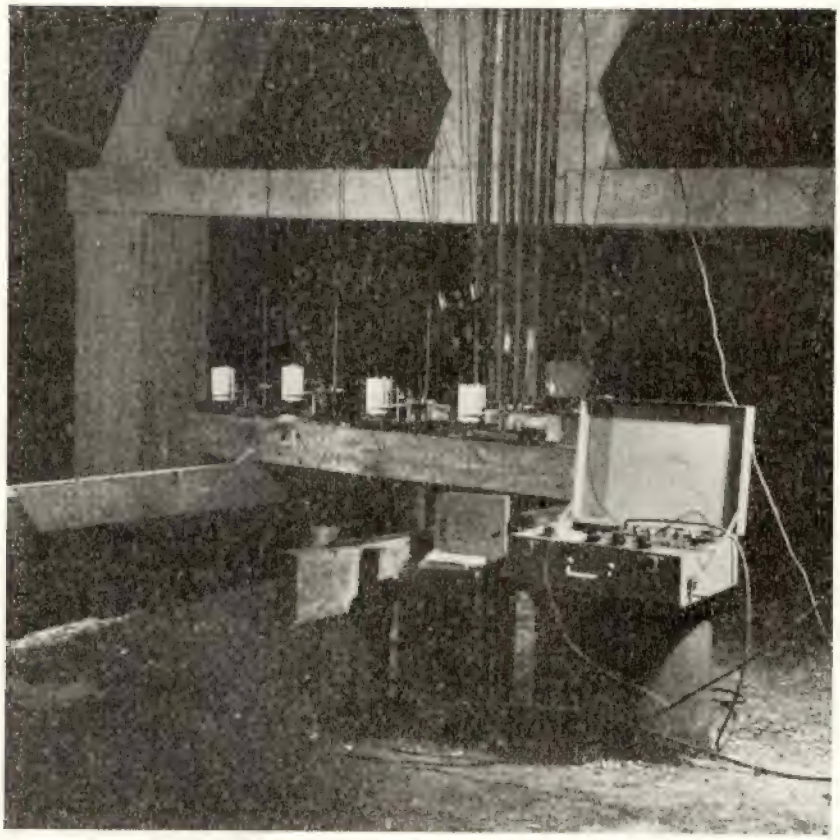


Fig. 5

Vue des appareits de mesure

Au premier plan la valise d'auscultation des témoins sonores. Le haut parleur est à côté sur l'étui.
Au second plan les fleximètres enregistreurs. En dessous on distingue les contrepoids de tension des fils.

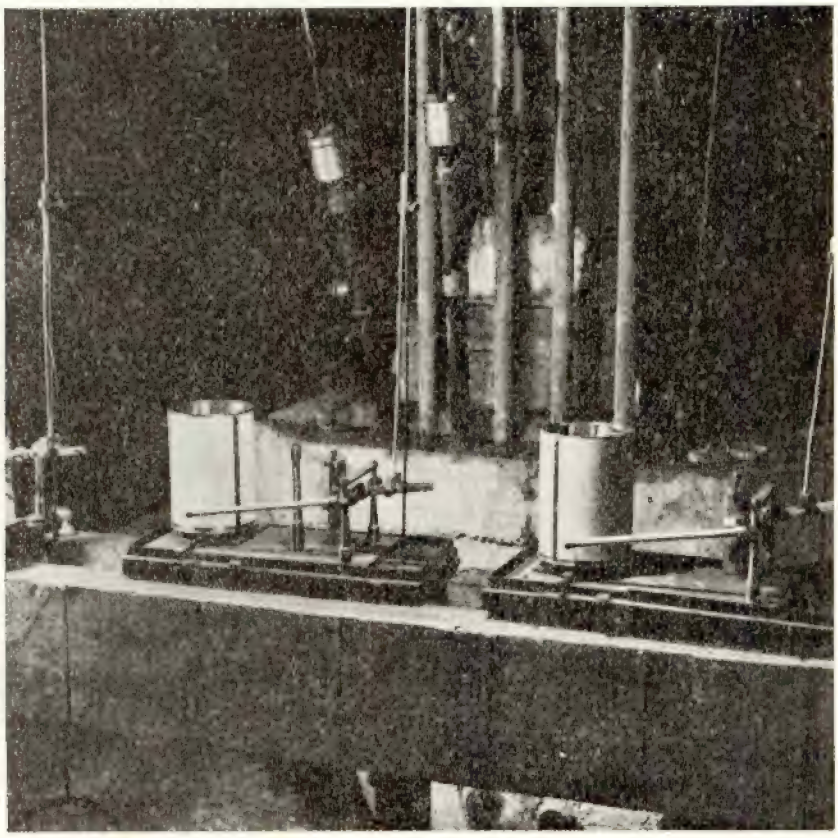


Fig. 6

Tête du pieu et fleximètre

Le vérin est posé sur de grosses cales de bois.
En dessous des madriers supports des fleximètres on remarque deux des quatro prises des témoins sonores. Celle de gauche est branchée.

↓2 ↓1

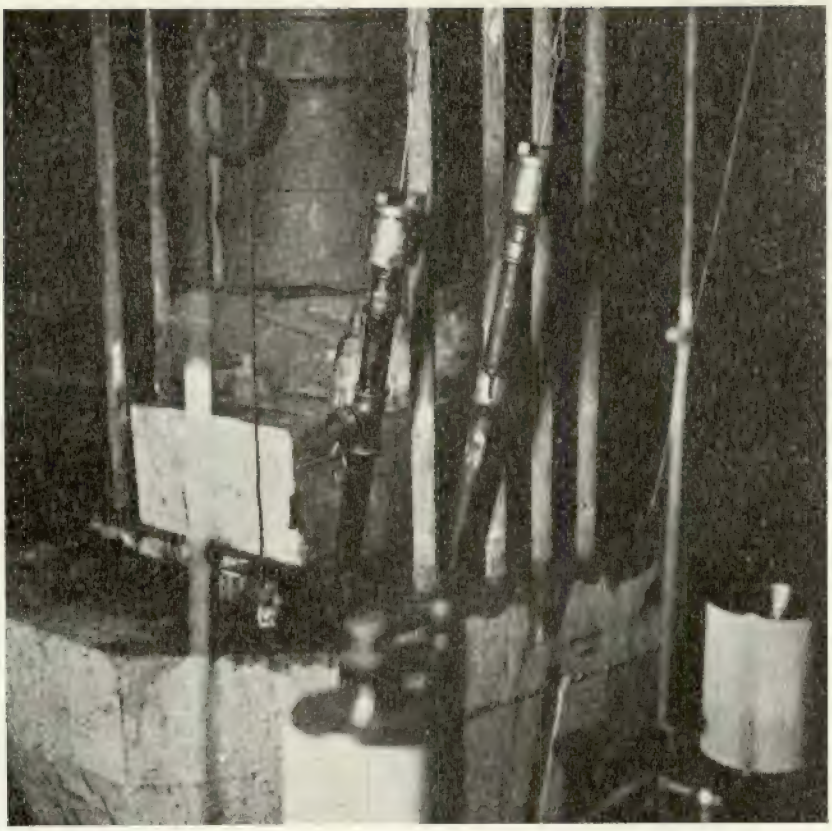


Fig. 7

Conduites de mise en charge du vérin de pointe

Ces deux conduites sont coiffées d'un presse étoupe laissant passer les tiges de transmission des déplacements de la pointe.

La conduite de gauche est munie d'un té normalement relié à la pompe.

1 — Fil donnant les déplacements du haut du pieu.

2 — Fil donnant les déplacements du bas du fût.

3 — Extrémité du tube isolant le fil 2 du beton.

3 →

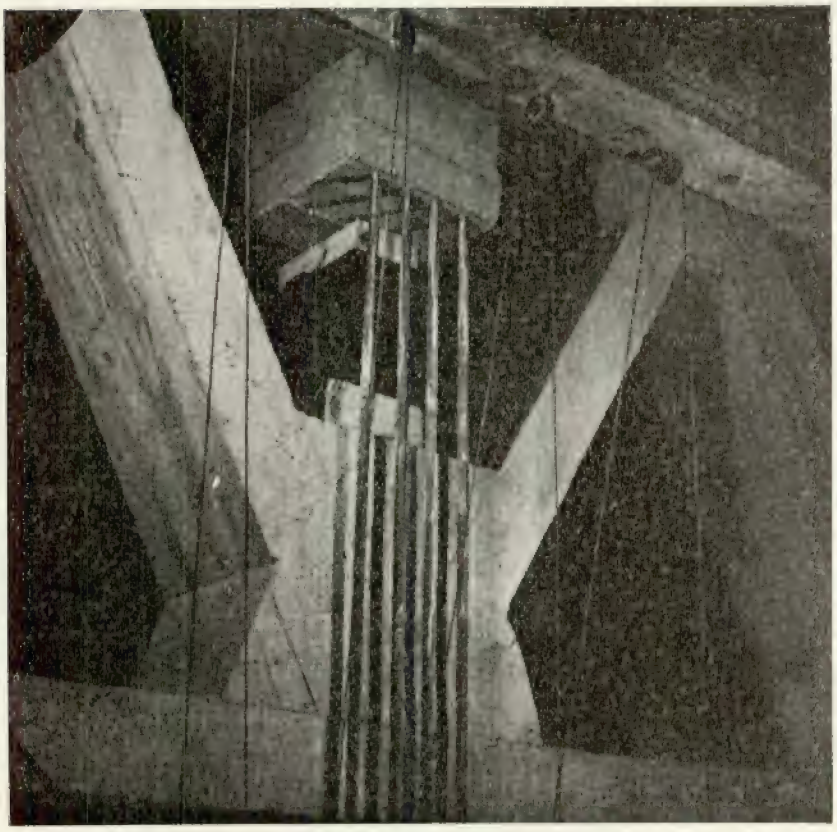


Fig. 8

Dispositif d'arrachage du pieu

Le vérin est disposé entre deux cales de bois.

Les poulies de retour des fils sont scellées à une poutre du plafond.

vérification très intéressante des formule de force portante des fondations circulaires.

Ces deux essais, efectués en vraie grandeur sur des terrains très différents peuvent être rapprochés des essais faits par M. Lehuerou-Kerisel sur des sables de Fontainebleau dans des appareils de laboratoire, à l'échelle réduite à 1/10, et où les formules théoriques avaient également trouvé leur confirmation.

On voit donc que l'on peut, connaissant les caractéristiques d'une couche servant d'apoui à un pieu, déterminer la force portante de celui-ci, tout au moins en ce qui concerne la résistance à la pointe. La seule hypothèse est l'homogénéité du matériau

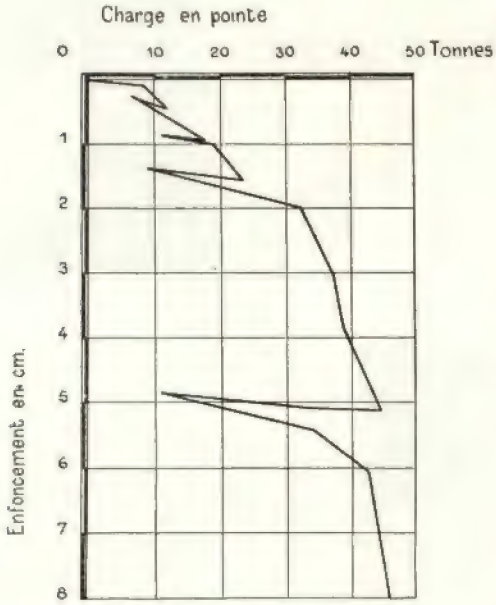


Fig. 9

servant de support, que l'on suppose indéfinie.

Les formules seront évidemment encore vraies si les couches successives rencontrées à l'aplomb de la pointe des pieux augmentent en résistance en même temps que la profondeur. Il en serait tout autrement s'il y avait en profondeur des couches plus compressibles. De très nombreux échecs de fondations sur pieux ont été enregistrés, faute d'avoir reconnu de façon compléte la nature du terrain à un niveau inférieur à celui de la base des pieux, avant d'appliquer ces formules qui ne valent que dans les hypothèses pour lesquelles elles ont été établies.

3 — *Essais de Gentilly* — Résistance au frottement latéral

Les essais que notre Laboratoire a faits dans une carrière d'argile, au voisinage immédiat de Paris se rapportaient au problème suivant. Il s'agissait de chercher à déterminer le frottement latéral des pieux dans une argile compacte, homogène, ayant une certaine pression de gonflement.

Pour éviter d'avoir à faire intervenir la résistance à la pointe, nous avons choisi la mesure de la résistance à l'arrachement d'éléments de pieux d'égale longueur, battus à des profondeurs différents. Le fait de substituer l'arrachement à l'enfoncement devait évidemment nous conduir à une valeur de frottement latéral inférieur à la valeur réelle, mais il nous avait semblé que, même cette valeur, présenterait nn intérêt suffisant pour justifier les essais, d'autant plus que, dans le cas des l'argile en question, l'influence de la cohésion et la pression de gonflement devaient être prédominantes, c'est-à-dire que la différence entre la résistance à l'enfoncement et à l'arrachement ne devait pas être considérable.

Les éléments de pieu choisis étaient des eléments de $40 \times 40 \times 2$ m., de longueur identique, traversés sur toute leur hauteur par un orifice circulaire. A mi-hauteur, un anneau épais en fonte, noyé dans le béton, faisait légèrement saillie à l'intérieur du canal central et permettait d'y accrocher un dispositif d'arrachement convenable.

L'expérience a montré qu'on pouvait, dans ces conditions, exercer des efforts de traction supérieure à 60 Tonnes. On fixait pour cela la tige centrale a un cadre en acier supporté par 2 vérins manoeuvrés par une pompe à eau. Il suffisait de lire la pression des vérins pour connaître la pression appliquée. Un index fixé à l'élément permettait de suivre le déplacement de celui-ci.

Les caractéristiques mécaniques de l'argile avaient été déterminées sur 5 carottes prélevées entre 0m,50 et 9m,20 de profondeur et qui ont fait l'objet chacune de 4 mesures

de cisaillement sous des pressions variant entre 0,5 et 6 Kg. par cm².

L'angle de frottement interne a été trouvé compris entre 9 et 11°, et pratiquement indépendant du niveau auquel l'échantillon avait été prélevé. Au contraire, la cohésion a été trouvée variable avec la profondeur. Elle pouvait se représenter par une expression linéaire en fonction de la profondeur:

$$C = 3{,}25 + \frac{1}{3}\,h$$

Il ne s'agit évidemment pas là de résultats mathématiques, puisque la valeur trouvée dépend non seulement de la précision des mesures mais aussi de l'homogénéité de la carotte dans laquelle ont été découpés les échantillons. Néanmoins, la précision est satisfaisante.

d'un temps donné lorsque, à l'intérieur d'une couche en place on introduit une vessie reliée à un manomètre et que l'on remplit la vessie de liquide de manière à coller exactement au terrain. La mesure de la pression de gonflement a été faite sur tous les échantillons extraits et a donné des résultats compris entre 1 et 2,5 Kg/cm².

Rappelons que la couche en question ayant été complètement découverte, si elle avait été en équilibre hydrostatique, la pression interne, au niveau du sol, aurait dû être nulle. Il s'agit donc bien là d'une couche en voie de décompression ayant une pression interne propre. Cette pression a pour expression:

$$X = 10 + 1{,}4\,h$$

Les résultats des essais sont résumés dans le graphique ci-joint. Ils ont confirmé que,

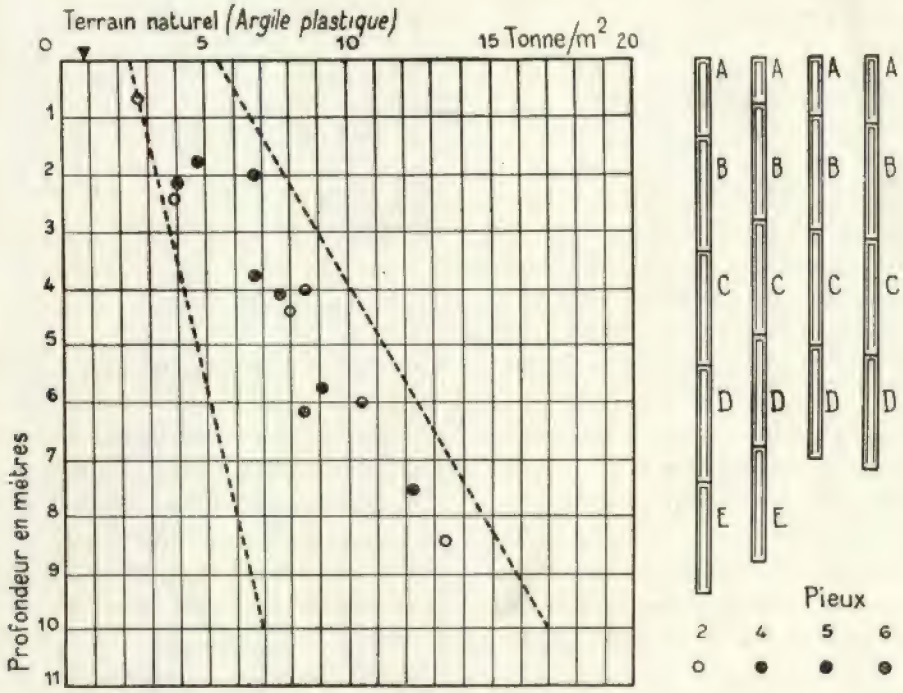


Fig. 10

Nous avons, d'autre part, mesuré la pression hidrostatique interne des échantillons, c'est-à-dire la charge qu'il fallait leur appliquér pour éviter tout gonflement lorsqu'ils étaient placés au contact de l'eau. Cette pression est celle qui s'établit au bout

dans tous les cas, l'extraction des pieux correspondait à un cisaillement de l'argile et non à un frottement du béton sur le radier.

Appliquons aux essais la formule ci-dessus qui donne la résistance à l'enfoncement

due au frottement latéral d'un pieu foncé dans un milieu donné.

$$\varphi = K\,(C + \Pi\, h\, \mathrm{tg}\, \varphi)$$

en donnant successivement au coefficient K les valeurs des coefficients de pousée et de butée, d'aprés Resal, pour une valeur de 10° de l'angle.

Tenons compte en outre, des valeurs obtenues pour la cohésion d'une part, pour la pression propre de gonflement d'autre part, et traçons les droites correspondant à la résistance au cisaillement et à l'arrachement calculée. On voit qu'elles encadrent les points figuratifs des essais de façon très satisfaisante.

Cet essai est très important en ce qu'il montre que, dans une argile homogène et de profondeur pratiquement indéfinie, on peut, en connaissant les caractéristiques du matériau, déterminer à l'avance la résistance de pieux battus ou forés.

4 — *Essais de Gennevilliers* — Mesure du frottement latéral.

Dans les essais de Gennevilliers dont nous avons déjà parlé, on ne s'est pas contenté de mesurer aussi approximativement que possible la résistance à la pointe, mais on a cherché à déterminer la charge transmise par le pieu aux différentes couches de terrain.

A cet effet, de cellules piezométrique à cordes sonores ont été placées à l'intérieur du fût, à des niveaux correspondant aproximativement aux niveaux de séparation des différentes couches et on a mesuré les efforts supportés par les différentes sections du pieu pour chacune des charges appliquées.

Le terrain était constitué, de haut en bas, par une couche de mâchefer, puis par diverses couches plus compressibles de marne, de sable fin, enfin par une argile tourbeuse récente, le tout surmontant les sables et graviers en place sur lesquels la fondation devai être assise.

Les essais ont montré que la charge appliquée en tait, était, pour les 2/3, transmise à la couche supérieure de mâchefer, la moitié environ du dernier 1/3 était transmise aux couches superposées de marne et de sable fin. Par contre, à la traversée de l'argile tourbeuse, c'est, au contraire, le terrain qui chargeait le pieu et qui lui restituait une grande partie de ce que les couches supérieurs avaient pris. C'est donc que le frottement du pieu sur le terrain, qui agissait positivement dans les couches

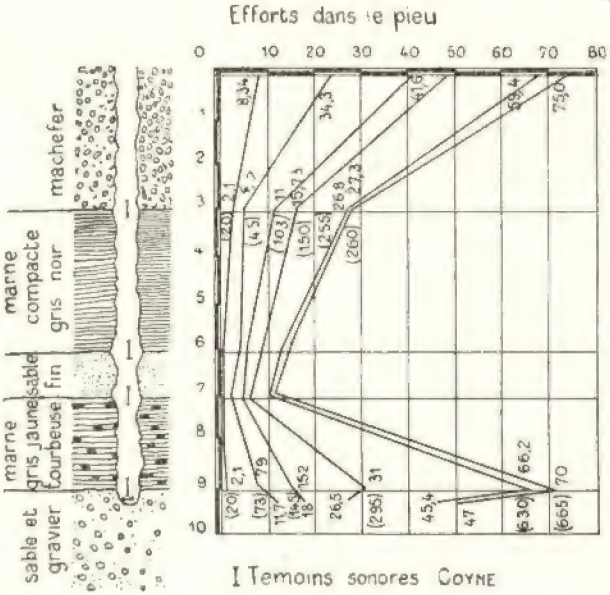


Fig. 11

supérieurs, pas ou peu compressibles, change de signe à la base, dans la tourbe, dont la compression est certainement supérieure à l'enfoncement du pieu augmenté du raccourcissement de celui-ci sous la charge. Cette couche, en se comprimant, exerce sur le pieu une traction vers le bas qu'il est impossible de calculer, mais dont il faut tenir compte.

L'influence du frottement négatif sur la stabilité des fondations sur pieux est une question extrêmement importante et que nous avons eu l'occasion de vérifier en plusieurs circonstances. Citons, en particulier, le cas d'un hangar construit sur pieux qui reportaient la charge sur une couche d'argile compacte située à 18 m de profondeur. Notre Laboratoire a été appelé parce que certains pieux avaient tassé de 25 cm. Les

essais ont montré que le frottement négatif des 16 m supérieurs de vase en cours de consolidation portait la charge à 140 T. c'est-à-dire à 28 Kg/cm². L'application de la formule de M. Ferrandon conduisi, pour les couches supérieures de l'argile servant d'assise, à une limite des déformations élastiques égale à 12 Kg., à une valeur du poinçonnement égale à 40 Kg., La charge de 28 Kg/cm² étai donc très loin dans le champ des déformations plastiques et explique bien le tassement constaté. Il ne se serait rien passé si tous les pieux avaient été ancrés assez profondément dans l'argile pour atteindre un niveau assez compact pour supporter la charge; malheureusement, certains avaient été arrêtés en tête de celle-ci et l'accident s'était produit.

CONCLUSION

De l'analise des fondations sur pieux à laquelle nous avons procédé, nous pouvons conclure qu'il est possible de calculer à l'avance la résistance d'une fondation. Mais nous n'insisterons jamais assez sur le fait que les calculs les plus savants ne dispensent pas de la reconnaissance préalable. Ils impliquent tous que, au-dessous du niveau sur lequel seront arrêtées les extrémités des pieux, le sol, en profondeur, est, soit homogène, soit de plus en plus compact. A la condition que l'on aura vérifié qu'il en est bien ainsi, les essais dont nous avons donné le résumé permetent de calculer comme suit la résistance à l'enfoncement d'un pieu:

a) La résistance à la pointe se calculera par l'une des formules que nous avons indiquées, soit celle qui donne la limite des déformations élastiques du terrain naturel, soit celle qui done la valeur du poinçonnement. Selon que l'on emploie la première ou la seconde, il est inutile ou il est nécessaire d'appliquer un coefficient de sécurité, de façon à rester dans le domaine des déformations élastiques.

Das le cas fréquent où on se propose d'employer des pieux pour reporter une charge sur une couche résistante située en profondeur, cette couche se trouve constituée par des sables et graviers. Or, il est souvent difficile de prélever des échantillons intacts de sable ou de gravier et de faire sur ceux-ci des mesures d'angle de frottement. On peut admettre, dans la pratique, un angle de frottement de 30° pour le sable fin et 35° pour les sables et graviers dans l'application des formules ci-dessus.

b) Cas des pieux flottants. — Les pieux flottants son utilisés lorsqu'on se trouve en présence de couches compressibles de grande hauteur et lorsque la compacité de ces couches augmente avec la profondeur. Dans ce cas la mise en place du pieu mobilisera non seulement la résistance à la pointe, mais aussi la résistance au frottement latéral. On pourra alors compter:

1.° — Au moment de la mise en place: sur une résistance à la pointe donnée par la formule de M. Ferrandon, et sur une résistance au frottement latéral due à la butée du terrain, que l'on calculera par la formule que nous avons donnée ci-dessus, sans tenir compte de la cohésion qui risque d'avoir été détruite du fait du remaniement de l'argile le long du pieu au moment du battage.

2.° — Une fois le pieu en place, le terrain se consolidera autour du pieu. On constatera d'abord une certaine décompression s'il y a eu battage. L'eau incluse mise en surpression au voisinage immédiat du pieu va se détendre, mais en même temps que le sol se décomprime, il se consolide et se solidarise avec le pieu, la couche d'argile qui l'entoure se consolide partiellement par absorption de l'eau par le béton, et si l'on arrache le pieu, il est enrobé d'argile. Si on n'impose la charge que progressivement, la consolidation est un fait acquis lorsqu'on charge le pieu; on peut alors, dans le calcul de la résistance, faire intervenir la cohésion et la pression de consolidation qui aura été déterminée par expérience.

Telles son les méthodes de calcul des fondations qui peuvent être employées dans le cas des pieux. Tels sont aussi les cas courants d'emploi de ce mode de fondation C'est volontairement que nous n'avons pas parlé de l'emploi des formules de battage,

dont la valeur empirique est incontestable, mais qui pêchent toutes par le fait que l'on se sert d'une résistance dynamique pour mesurer une résistance statique.

C'est pourquoi les méthodes de calcul que nous avons indiquées nous paraissent plus satisfaisantes et de nature à éviter les nombreux déboires dont nous avons, ci-dessus, donné un exemple.

Telles sont les indications que nous voulions donner sur les applications de la mécanique des sols à l'étude des fondations. C'est volontairement que nous nous sommes abstenus de développer les calculs qui conduisent aux formules que nous avons citées dans notre exposé. Nous espérons que, tel qu'il est, il pourra être utile aux Ingénieurs, en faisant le point d'une question qui, jusqu'ici présentait encore pas mal d'obscurité.

Acaba de aparecer

TOPOGRAFIA GERAL

PELO ENGENHEIRO

CARVALHO XEREZ

MUTADOR EM RÁDIO-EMISSÃO

POR FERNANDO FRANCO FEIJÓO
(DO CURSO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA)

(Conclusão)

D. C. 621 396

O estudo que vou fazer do mutador — — unidade fornecedora de energia do emissor de onda curta Brown Boveri de 10 kW instalado na Estação de Alferragide da Companhia Portuguesa Rádio Marconi — — não é pròpriamente do modo como é construido, mas das funções que desempenha, conjuntamente com outros elementos, a fim de que o emissor trabalhe nas melhores condições de estabilidade.

As partes constituintes do emissor estão montadas em oito cabines metálicas dispostas como se indica na fig. 20, existindo uma mesa de comando donde se faz toda a vigilância e as diversas manobras para o por a funcionar.

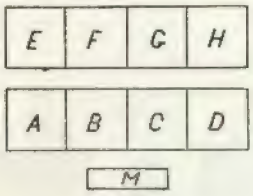


Fig. 20

Cabines:

A — cabine dos andares preleminares de R. F.
B — cabine das válvulas } andar final
C — cabine das bobines } de R. F.
D — cabine dos andares de A. F.
E — cabine das correntes fortes
F — cabine do transformador do mutador
G — cabine do mutador e do filtro
H — cabine do transformador de modulação
M — mesa de comando.

Consideremos a cabine das correntes fortes alimentadas pela rede por intermédio dum transformador abaixador 3.100/380 Volts 50 Hz.

Toda a energia consumida pelo emissor é registada num contador seguindo depois caminhos diversos:

— Uma parte passando num transformador de estabilização (permitindo variações de tensão de $\pm 1\ \%$) destina-se à alimentação dos andares preleminares e ao aquecimento dos filamentos das válvulas.
— Outra irá alimentar o circuito anódico do mutador.
— E ainda outras têm por função alimentar os diversos circuitos auxiliares:

— Circuito de regulação do transformador de estabilização.
— Circuito da tensão de comando de grelhas do mutador.
— Circuito de ligação do mutador.
— Circuitos dos motores dos ventiladores de alta e baixa pressão, destinados à refrigeração das válvulas e das cabines.
— Circuito de alimentação da mesa de comando.
— Circuito de alimentação do termostato.

Vejamos com pormenor o modo de funcionamento do mutador, entrando em linha de conta com as condições a que deve obedecer quando utilizado em rádio-difusão.

Vamos considerar seis pontos de particular importância:

— Estabilização; compoundagem
— Curto circuito; fenómeno do arco inverso
— Interrupção da excitação
— Sobretensões
— Refrigeração
— Comandos

Emissor Brown Boveri de 10 kW instalado no posto emissor de Alferragide

No esquema unifilar simbólico (fig. 21) temos quatro circuitos a estudar:

I — Circuito de alimentação anódica.
II — Circuito de grelha.
III — Circuito de ligação do mutador.
IV — Circuito de alimentação do termostato.

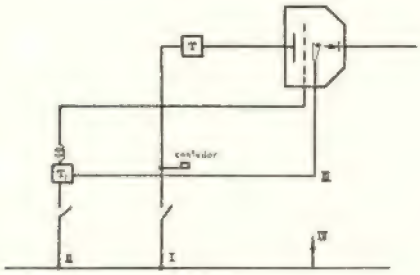
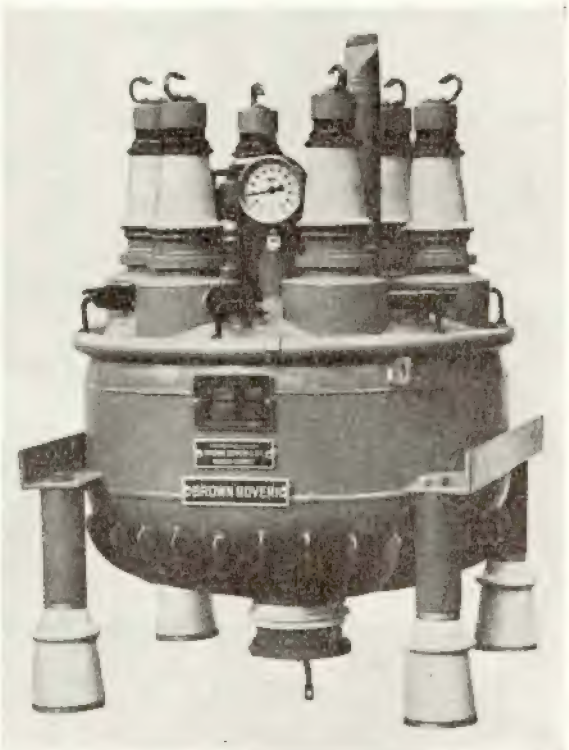


Fig. 21

Recorremos a um esquema mais completo — ainda que simplificado em relação ao real — apresentando os três primeiros circuitos considerados fundamentais (fig. 22).



Mutador Brown Boveri estudado

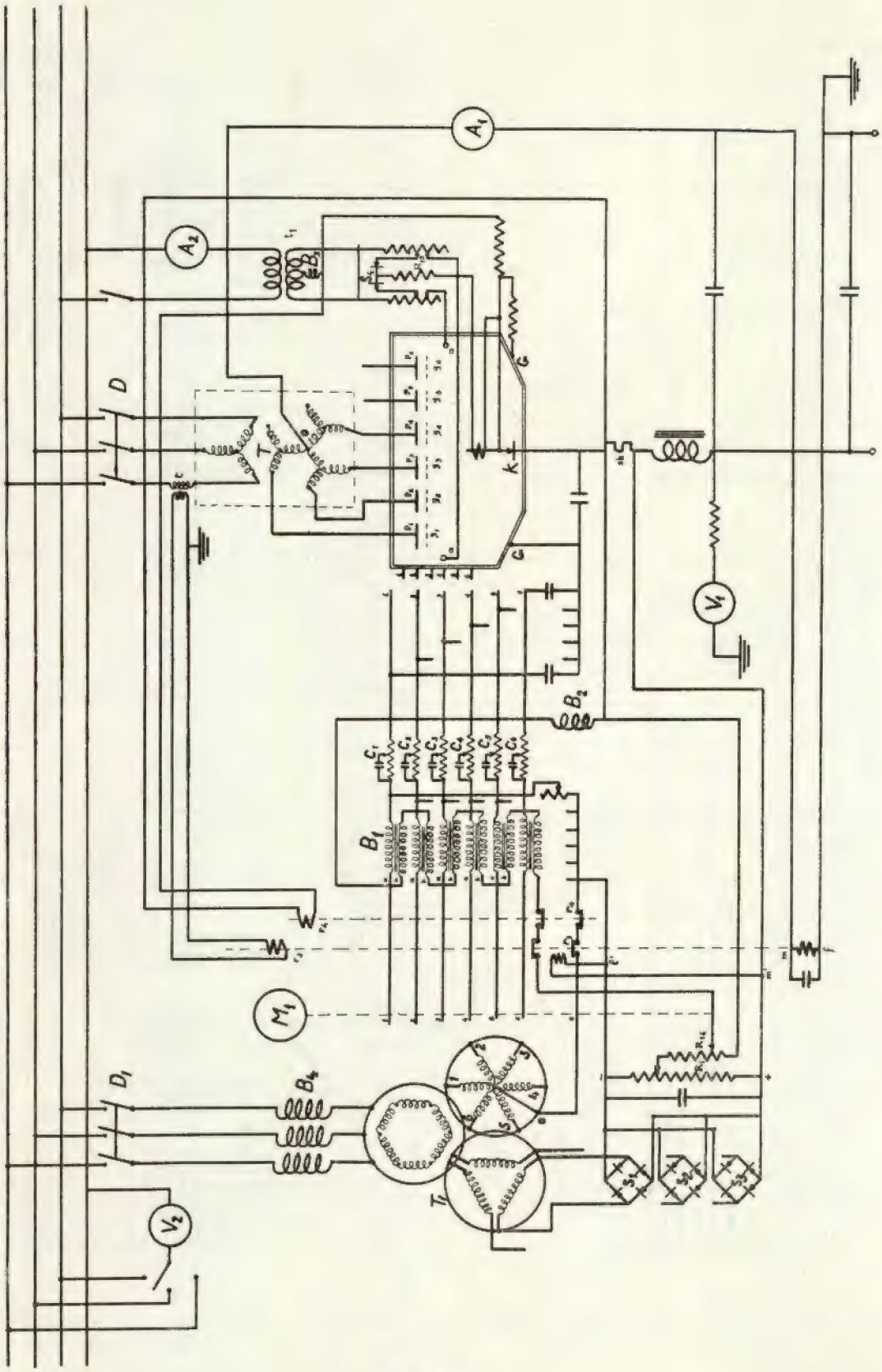


Fig. 22

Nos esquemas parcelares seguintes estão indicados os diversos elementos e as ligações efectuadas em cada um dos circuitos.

Indicações da chapa do mutador:

Tensão.....	10.000 V
Corrente.....	3 A
Potência contínua	30 kW

I — Circuito anódico

O circuito anódico é alimentado pelo transformador tri-hexafasado T (fig. 23) com disjuntor de comando electromagnético D protegido por dois relés directos de máxima corrente r_1 e r_2. Há ainda um relé térmico secundário que protege a instalação contra sobrecargas.

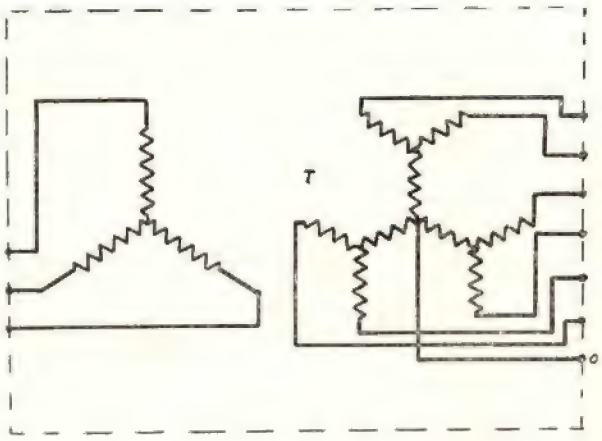


Fig. 23

(figs. 24-25). Ligado ao neutro do transformador T está a bobine do terminais m l (actuando igualmente no mesmo relé r_3) e

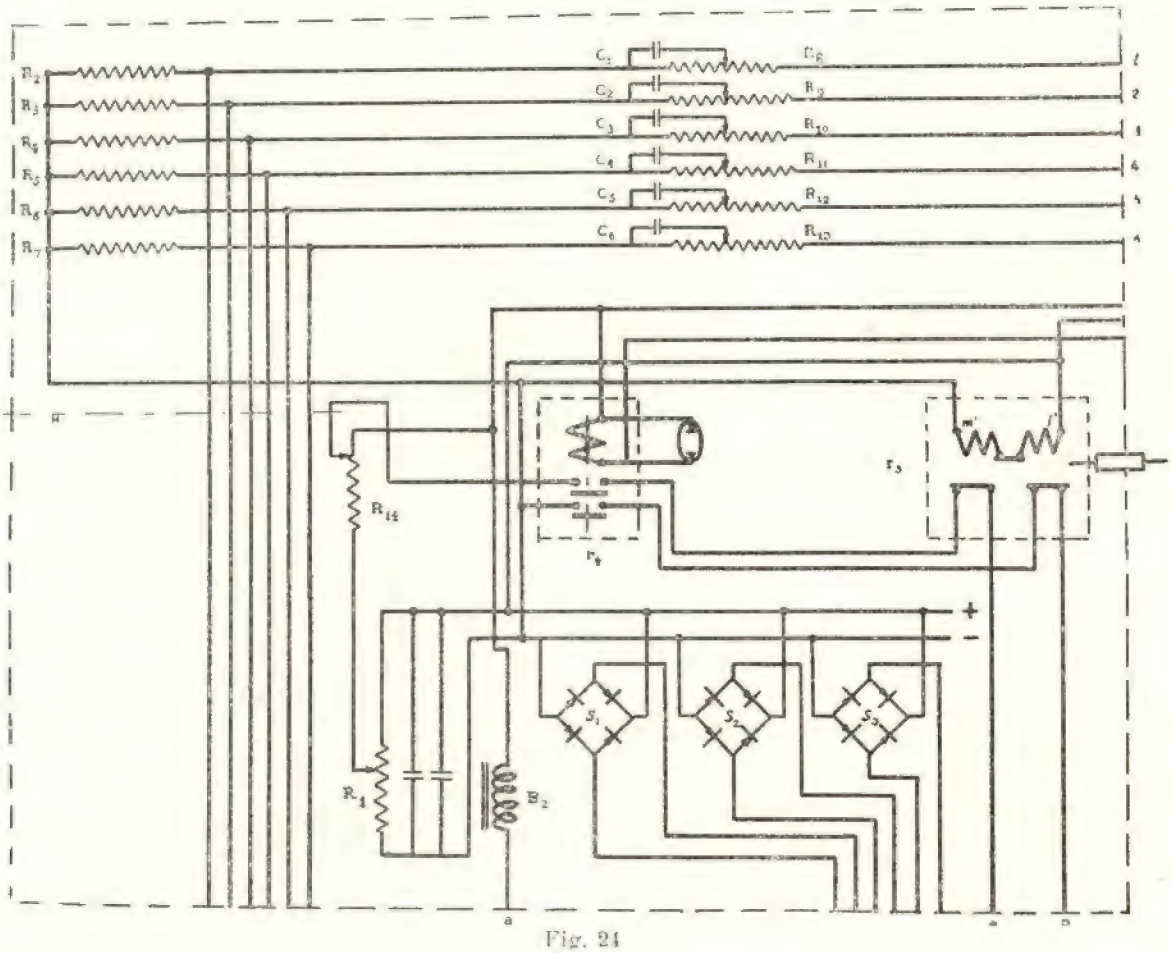


Fig. 24

Numa das fases está montado o primário do transformador de intensidade t cujo secundário vai actuar no relé da grelha r_3 intercalado em série o amperímetro A_1 (fig. 25) que nos dá o valor da corrente contínua que o emissor consome.

À saída do mutador ligado ao cátodo encontra-se um shunt (fig. 26) empregado na compoundagem (cujo funcionamento adiante se verá) e em seguida está o filtro

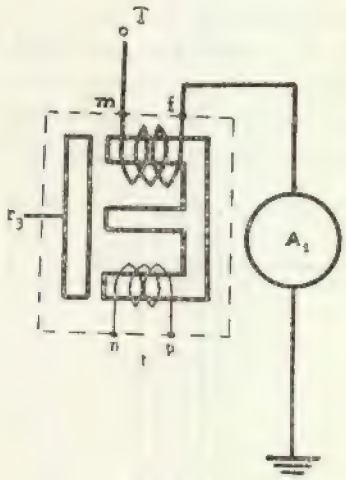


Fig. 25

constituído por um «condensador de alisamento» e por uma self de 10 H — 3 A. Temos ainda um condensador antiparasita ligado entre massa e cátodo.

— Amperímetro de corrente contínua A_1 (0 — 4 A)
— Voltímetro da tensão contínua filtrada V_1 (0 — 12 kV)

II — Circuito de grelha

O transformador do comando de grelhas T_1 (fig. 27) é protegido do lado do primário pelo disjuntor D_1 que pode ser desligado por um dispositivo térmico. Este circuito será adiante estudado com todo o pormenor.

Aparelhos de medida:

— Voltímetro da tensão da rede com comutador para as três fases V_2 (0 — 450 V).

III — Circuito de ligação do mutador

O mutador precisa para ser posto a funcionar de um dispositivo que provoque determinada vaporização do mercúrio de

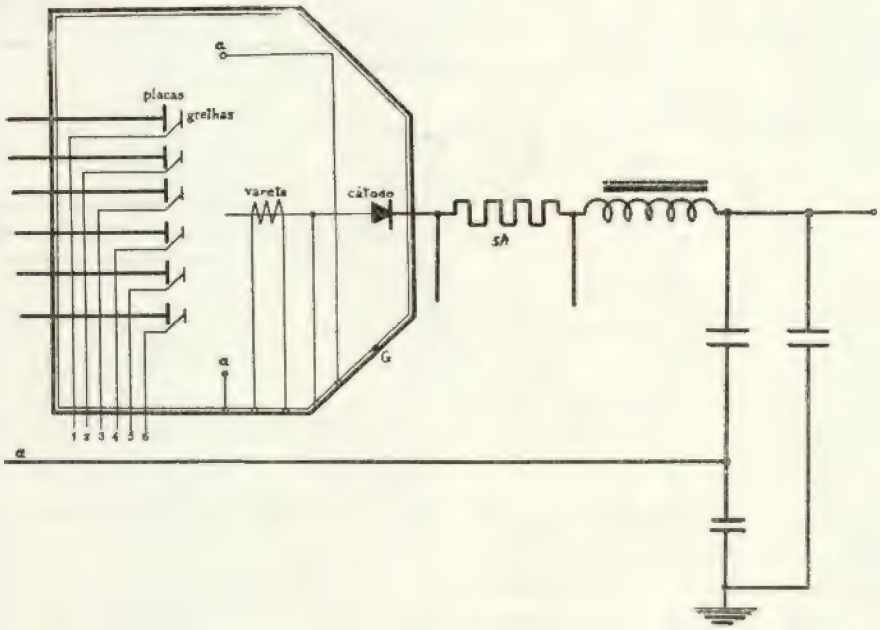


Fig. 26

Aparelhos de medida:

— Contador de horas de serviço do mutador

modo a fazer saltar o arco e consequente transporte de electrões.

É adoptado o mercúrio para substância catódica, devido ao seu estado líquido que

lhe permite voltar ao cátodo depois de condensado sobre as superfícies frias. e ainda porque a queda de tensão no interior da célula é pequena, e pràticamente independente da carga ($\simeq$ 20 Volt). Esta queda de tensão é função da densidade de vapores na válvula e particularmente da densidade na vizinhança da grelha e do anodo.

É claro que, durante a construção do mutador, foi necessário efectuar uma extracção do ar do seu interior, e fazer seguidamente as soldaduras convenientes, de modo a obter uma estanquicidade o mais perfeita possível. Com efeito, o rectificador estudado não possue bomba de vácuo com o respectivo manómetro de controle, e esta característica é particularmente vantajosa em instalações de cabines, em que se procura uma arrumação dos diversos elementos, segundo um critério de máxima economia do espaço.

O dispositivo para fazer saltar o arco entre catódio e anódio, e para manter a excitação, é manobrado da mesa do comando, e compreende:

a) Transformador de excitação monofasado t_1 — montado em banho de óleo na mesma tina do transformador T_1 do comando de grelhas (fig. 27) — e tendo no secundário 2×116 Volt.

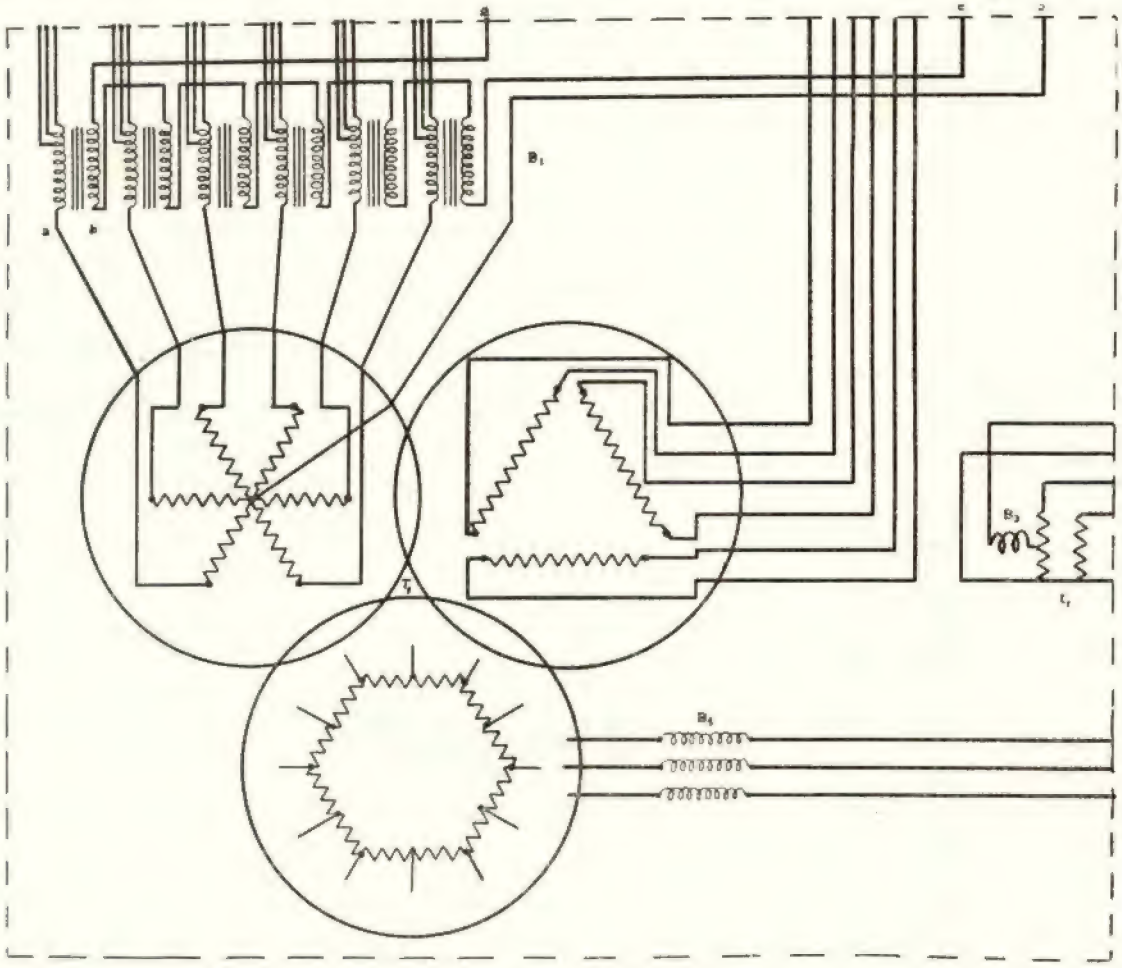


Fig. 27

b) Bobine B_3 do circuito de excitação (fig. 27).

c) Resistência $R_{15} = 17\ \Omega$ em série com o circuito destinado a fazer saltar o arco (fig. 28).

d) Resistências de excitação R_{16} — R_{21} do circuito anódico de excitação (fig. 28)

e) Rectificador de selénio S_4 (fig. 28) que dá corrente para a vareta (fig. 26).

f) Relé de excitação r_4 (fig. 24).

Funcionamento:

Quando se liga o transformador de excitação t_1, os ânodos de excitação *a* (fig. 26) ficam submetidos a uma tensão alterna de 110 Volts em relação ao cátodo, ligado ao ponto neutro de t_1 pela bobine B_3 através do relé de excitação r_4. A vareta atravessada por uma corrente de 2,8 A mergulha no mercúrio quando o mutador não está sendo excitado. Mas, ao mesmo tempo aquela corrente que é rectificada por S_4 faz levantar a armadura do dispositivo que segura a vareta. Logo que esta é atraída, começa a saltar o arco mantido por aquela corrente. Os ânodos de excitação começando a funcionar, produz-se uma queda de tensão nas resistências de excitação que faz deminuir a corrente que atravessa a vareta a um valor de 1,2 A — valor suficiente para mantê-la fora do mercúrio.

A excitação fica sempre ligada a fim de obter determinada vaporização de mercúrio, e o arco nunca deixa de saltar mesmo quando a carga baixa a zero.

Havendo interrupção no fornecimento de corrente da rede, o mutador excita-se automàticamente, quando a corrente for de novo ligada.

Dados construtivos:

— Consumo do dispositivo de ligação do mutador $\simeq$ 1 kW.

— Corrente para excitação: (dada pelo amperímetro A_2 — 0 — 10 A)

mutador em vazio — 8,5 A
mutador em carga — 9 — 10 A

IV — Circuito de alimentação do termostato

Este circuito não se descreve, apenas se indicando o papel que desempenha no funcionamento da célula rectificadora.

Sobre o mutador existe um radiador parabólico que aquece quando a temperatura é muito baixa.

Com temperatura baixa é difícil fazer saltar o arco.

O radiador está ligado a um termómetro de ponteiro com dois contactos e não deixa ligar a excitação quando a temperatura desce abaixo de certo valor.

***

Vamos agora considerar os seis pontos — atrás citados — de particular importância em rádio-emissão.

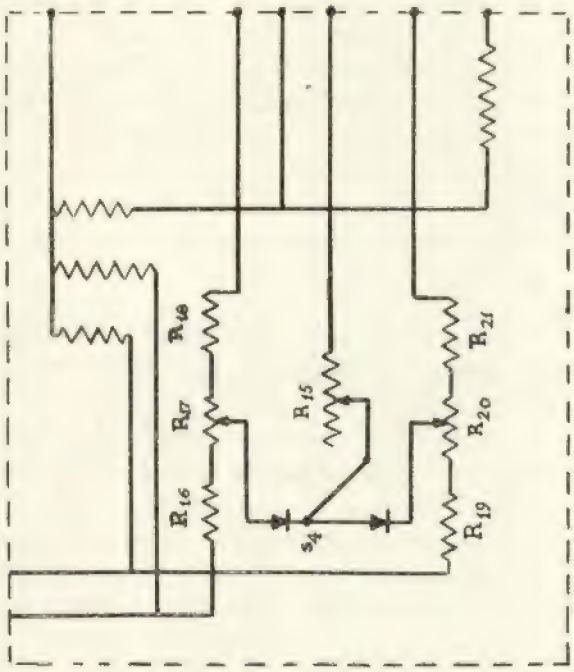


Fig. 28

A — Estabilização; compoundagem

A estabilização obtém-se por meio dum comando de grelhas polarizadas e faz-se dentro duma margem de 0 a 100 % da tensão nominal. Verifica-se logo que se liga a célula e mantém-se no momento em que se desliga.

Considera-se a tensão de comando como a resultante de duas tensões:

1 — tensão contínua — fornecida pelos rectificadores de selénio S_1 S_2 S_3 ligados à resistência de carga R_1 (fig. 24).
2 — tensões alternas — fornecidas pelo transformador de comando T_1 (fig. 27) sobre as resistências R_2 a R_7 (fig. 24).

A sobreposição de tensões (contínua e alterna) é transmitida às grelhas de comando (fig. 26) por meio de resistências R_8 a R_{13} (fig. 24), havendo contudo deformações provocadas pelos condensadores C_1 a C_6.

Os circuitos que vão às grelhas são ligados à tina do mutador por meio de condensadores, estando esta isolada da terra e pràticamente ao potencial do cátodo.

A regulação da tensão contínua faz-se por meio de bobines B_1, alimentados por uma tensão contínua auxiliar existente na resistência de regulação R_{14} e na bobine de self B_2. A resistência de regulação R_{14} é comandada à distância pelo motor M_1 manobrado por botões de pressão existentes na mesa de comando.

Funcionamento do circuito de comando de grelhas

Consegue-se, pelo comando de grelhas, uma regulação contínua na tensão de 0 a 10.000 Volt.

O funcionamento do comando baseia-se na possibilidade de variar a desfasagem (em relação à tensão do respectivo ânodo) dos impulsos positivos que vão às seis grelhas.

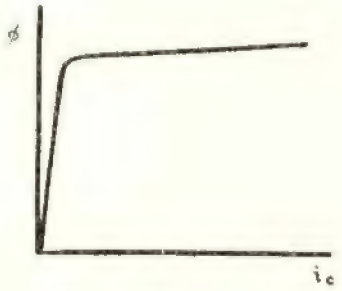
A variação de desfasagem é obtida modificando a magnetização das bobines de comando B_1, que possuem um núcleo de substância magnética especial com característica de cotovelo bem pronunciado.

O transformador T_1 alimenta um secundário em triângulo aberto e as correntes fornecidas por este secundário (desfasadas de $\frac{2}{3}\pi$) são rectificadas pelos três grupos de rectificadores de selénio S_1, S_2 e S_3 em ligação sistema Graëtz. A resultante atravessa a bobine B_2 (com papel de alisamento) e alimenta os enrolamentos secundários *b* das bobines de comando B_1. Podemos variar a magnetização destas bobines variando a posição do cursor da resistência R_{14} (comandada pelo motor M_1).

A característica magnética tem o andamento indicado na fig. 29.

Variando a saturação do núcleo vai variar o coeficiente de auto indução das bobines *a* intercaladas em série no circuito de comando de grelhas. Com efeito, para $\phi = i_c L$ temos o fluxo pràticamente constante e L vai diminuir à medida que i_c aumenta.

Para dar uma explicação física simplista da variação de desfasagem da tensão de



ϕ — fluxo
i_c — corrente de magnétização

Fig. 29

grelha e logo da variação do ângulo de ignição β pudemos supor grandezas sinusoidais puras e logo susceptíveis de representação vectorial simples. Na realidade, não é isso o que acontece pois neste caso o sistema de control é por impulsos e portanto de representação vectorial bastante complicada.

Supondo que ao circuito de grelha aplicamos uma tensão alternada sinusoidal de amplitude constante, pretende-se determinar as variações de desfasagem da tensão de grelha, quando varia a saturação magnética de B_1 (fig. 30).

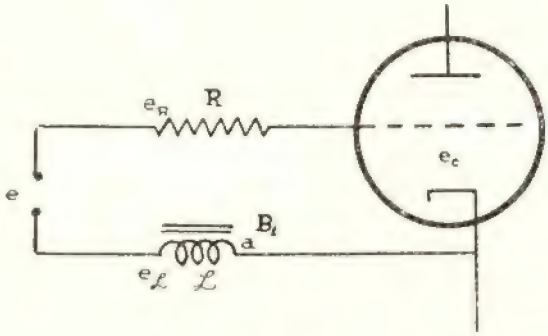


Fig. 30

Sejam e, e_L, e_R e e_c os valores instantâneos, respectivamente, da tensão aplicada, da tensão aos terminais de bobine (suposta sem resistência), de tensão aos terminais da resistência R e da tensão de grelha. Sejam E, E_L, E_R e E_c as respectivas amplitudes.

Temos

$$e = e_L + e_R + e_c$$

e para grandezas alternadas sinusoidais com a mesma frequência

$$\vec{E} = \vec{E}_L + \vec{E}_R + \vec{E}_c = \text{constante}$$

em que

$$\vec{E}_L = j\,w\,L\,\vec{I}$$
$$\vec{E}_R = R\,\vec{I}$$
$$\vec{E}_c = r\,\vec{I}$$

(podemos considerar sem grande erro a queda de tensão dentro da válvula como queda óhmica).

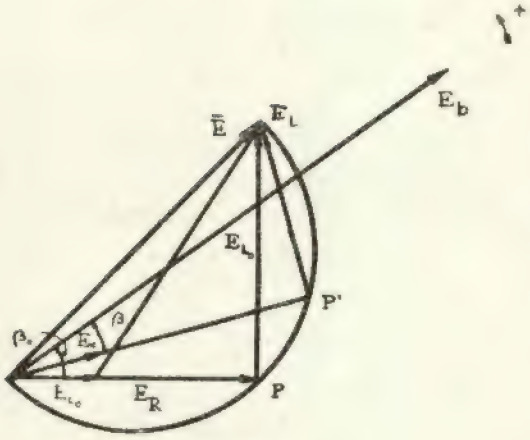


Fig. 31

Diagrama vectorial

O ângulo de ignição β confunde-se no caso do impulso pràticamente com o ângulo de desfasagem entre a tensão anódica e_b e a tensão de grelha e_c.

Seja

$$\beta = \beta_o \text{ para } i_c = o \text{ e } E_c = E_{c_o}.$$

Vimos que à medida que aumenta i_c (aumenta a saturação) L deminue, o ponto P vai deslocar-se sobre a circunferência (E = const) para P′ e β_o passa ao valor $\beta < \beta_o$.

Em conclusão: pelo aumento de corrente de prèmagnetização das bobines B_1, deminue o ângulo de ignição, isto é, os impulsos das grelhas verificam-se mais cedo.

Sistema de compoundagem

O sistema de compoundagem representa uma compensação da queda de tensão no interior da válvula e no transformador de alimentação anódica, queda que vai crescer com a carga.

É o shunt sh (fig. 26) do circuito anódico que funciona com essa finalidade. O aumento de tensão aos terminais do shunt (proporcional à carga) dá origem a um aumento de corrente de prèmagnetização das bobine B_1. O ângulo de ignição β deminue, o que origina uma subida de tensão compensadora.

B — Curto circuito; fenómeno de arco inverso

O «fenómeno de arco inverso» consiste no seguinte:

Em funcionamento normal as células rectificadoras têm resistência pràticamente infinita num sentido, não permitindo passagem de corrente senão em sentido oposto.

Temos fluxo electrónico apenas do cátodo para os ânodos — corrente dos ânodos para o cátodo.

Mas, por causas especiais o efeito da válvula pode deixar de existir, havendo então um fluxo de electrões em sentido contrário, dando origem ao estabelecimento do arco entre as placas. Temos deste modo curto circuito no secundário do transformador T o que arrasta a curto circuito no primário.

As principais causas do fenómeno de arco inverso são:

a) Forte ionização residual do mercurio em torno dos ânodos a temperaturas muito elevadas
b) Pressão muito elevada do vapor de mercúrio
c) Impurezas no material dos ânodos
d) Depósito sobre os ânodos de poeira dos isoladores
e) Sobretensões entre os ânodos e o cátodo provocados por sobretensões sobre as redes primária ou secundária, e por cargas bruscas aplicadas ao mutador, ainda não suficientemente aquecido.

O princípio de eliminação dos fenómenos de arco inverso é o seguinte: A grelha, que

em funcionamento normal está positivada, logo que se estabelece o arco ou curto circuito provoca-se-lhe uma negativação em relação ao cátodo. Deste modo, a passagem de electrões em sentido contrário ao normal — precisamente a causa do arco inverso — já não é possível e o curto circuito extingue-se.

À volta das grelhas forma-se uma carga espacial positiva que bloqueando os ânodos impede a emissão de electrões.

Deve notar-se ainda que no caso de curto circuito no lado contínuo a sua extinção só se faria completamente após vários períodos de corrente, e isto devido a oscilações de energia armanezada na bobine de self de filtragem. Este inconveniente contudo, é suprimido, como se verá. O relé de grelha r_3 actua nas impulsões fazendo-se simultâneamente uma comutação, de modo que a energia acumulada na bobine de self seja lançado na rede alternada, e o curto circuito extinto em menos de um período sem que o disjuntor primário dispare.

O relé de grelha r_3 é comandado pelo transformador de intensidade t e pela bobine ml por onde passa a corrente contínua rectificada. Possue uma bobine m/ l , alimentada pela tensão aos terminais da resistência de carga R_1, e cuja finalidade é ùnicamente assegurar a insuflação do arco nos contactos.

Estabelecido o curto circuito, r_3 actua, e os contactos cortam a corrente de prèmagnetização das bobines de comando B_1, assim como o circuito que vai ao ponto neutro do transformador de comando T_1. As grelhas ficam então negativadas em relação ao cátodo.

Após a perturbação — arco inverso ou curto circuito — a tensão contínua sobe de zero ao seu primitivo valor no intervalo de tempo 0,3 segundos. Assim, em caso de anormalidade a interrupção total não chega a durar 0,4 segundos — soma-se ao tempo de extinção o que leva a tensão contínua a a alcançar o regime normal.

No caso de curto circuito com caracter permanente o disjuntor primário dispara, e a tensão contínua é automàticamente baixada até zero pelas grelhas de polarização.

C — Interrupção da excitação

Interrompendo-se a excitação momentâneamente os ânodos principais ficam imediatamente bloqueados a fim de evitar que, quando o arco recomece a saltar, vá encontrar a vareta.

O bloqueio dos ânodos obtem-se por meio de dois contactos auxiliares do relé de excitação r_4, que interrompem a corrente de prèmagnetização das bobines de comando B_1, e o condutor neutro do transformador T_1.

Só quando a excitação for novamente ligada, os ânodos principais deixam de estar bloqueados.

D — Sobretensões

A fim de evitar os efeitos grandemente prejudiciais das sobretensões — que originam faíscas perigosas nos pontos mais fracos da instalação e ainda fenómenos de arco inverso — existem disparadores esféricos entre os ânodos e a cuba.

E — Refrigeração

A refrigeração do mutador, assim como das outras cabines do emissor, faz-se por circulação de ar, estando o grupo de ventilação montado numa cave. Ele é constituído por dois ventiladores (de alta e baixa pressão) por uma caixa de distribuição e por um filtro através do qual passa o ar fresco antes de entrar no ventilador. O ar quente sai pela parte superior das diversas cabines e é conduzido por uma conduta para o exterior.

F — Comandos

Não vou descrever o modo como se fazem os comandos do mutador. Na realidade, o problema, ainda que não apresente grandes dificuldades teórico-técnicas, é de tal maneira complicado pelo número e diversidade de circuitos empregados, que, se pretendesse dar uma explicação teria que preencher muitas e muitas páginas com grande número de esquemas.

Por outro lado deve dizer-se que, — embora para quem lida com o emissor seja indispensável ter presente os diversos circuitos do comando, ou pelo menos saber localizá-los ràpidamente por observação comparada com os esquemas (supondo caso de avaria) — na sua essência a questão do comando pouco interêsse tem no estudo que pretendi fazer sobre o mutador.

Apenas em traços gerais direi:

É da mesa do comando que se actua no funcionamento do mutador carregando em botões de comando, e o control faz-se por meio de lâmpadas que acendendo indicam se as sucessivas manobras se estão a efectuar pela ordem correcta.

A ligação do emissor pode ser automática e para isso basta carregar num único botão, ou ainda não automática em que se empregam sucessivamente os diversos botões.

Independentemente da mesa do comando podem fazer-se num painel existente na cabine E as seguintes manobras:

— ligar o mutador
— ligar a excitação
— ligar o radiador de aquecimento
— comandar o relé de grelha

Existem lâmpadas de aviso que assinalam todas as manobras.

Elementos de consulta:

— D. G. Fink — Engineering Electronics
— F. Terman — Radio Engineers' Handbook (1943)
— H. Rissik — Mercury-Arc Current Convertors
— H. Giroz — La transformation do l'Énergie électrique II — Commutatrices et Redresseurs
— M. Leblanc — Redresseurs à vapeur de mercure
— Revistas:

Brown Boveri
General Electric
Asea

Terminaram a parte escolar do seu curso no ano lectivo 1945-46 os nossos colegas:

ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

Raúl Duro Contreiras

que por lapso não veio mencionado no n.º 152.

Nos nomes dos nossos colegas de Engenharia Químico-Industrial deve rectificar-se o de

António dos Santos Borges para Antónia dos Santos Borges.

Acaba de aparecer:

TOPOGRAFIA GERAL

PELO ENGENHEIRO

CARVALHO XEREZ

DO MUNDO TÉCNICO

A Geologia na Pesquisa de Carvão

por LESLIE R. MOORE, B. Se. Ph. D. F. G. S.
Tradução de J. Rogado

C. D. 622.33:553

A pesquisa do carvão apresenta estes dois tipos de problemas principais:

1.º — Problemas que surgem durante a exploração de novas áreas de um jazigo carbonífero já conhecido, ou na pesquisa de novos jazigos.

2.º — Problemas levantados nos desmontes dos jazigos, tais como o estabelecer a relação estratigráfica entre distintas camadas de carvão, e interpretar a estrutura geológica do jazigo e as perturbações que essa estrutura tenha sofrido.

Nos últimos anos têm-se adquirido conhecimentos geológicos que resolvem muitos daqueles problemas, à custa de floras e faunas fósseis, conservadas nas rochas do Coal Measure.

Nesse campo o prof. A. E. Trueman, F. R. S., e Mr. J. H. Davies dividiram as rochas do British Coal Measure em certo número de camadas, baseando-se na fauna continental aí encontrada (Carbonicola, Anthracomya, Naiaditese Anthraconauta', camadas essas que foram reconhecidas em todos os importantes jazigos Britânicos.

Esta feliz estratigrafia demonstrou a presença de quatro formações marinhas no complexo do British Coal Measure e que ocorrem, por outro lado, em níveis bem determinados em todos os principais jazigos carboníferos.

Por último. o prof. Trueman mostrou recentemente que as camadas mais abundantemente exploradas, em qualquer dos jazigos britânicos, ocorriam interestratificadas com três das formações continentais atrás referidas.

Camadas com Carbonicola *ovalis*
» » Anthracomya *modialoris*
» » Carbonicola *similis* e Antracomya *pulchra*.

Estas conclusões são já um precioso guia quer para qualquer futuro desenvolvimento a projectar em novas áreas de um jazigo carbonífero já em laboração, quer também para a exploração de novos jazigos. E os problemas de exploração têm especial magnitude na Inglaterra onde muitos jazigos carboníferos estão parcial ou totalmente dissimulados por rochas mais recentes. Estas formações mais recentes assentam em discordância sobre as rochas que formam o Coal Measure.

Portanto a extensão e estrutura desta formação subjacente pode apenas ser determinada à custa de sondagens profundas onde os sedimentos marinhos são fàcilmente identificados nas próprias «carotes» e a estratigrafia é determinada pela camada continental com fósseis na qual ocorrem. Por outro lado, porque as camadas mais ricas estão nas formações com fauna continental, a sua presença pode ser indicada pela sonda antes da exploração ser considerada sem interesse.

Assim presta-se, actualmente, considerável atenção à correlação entre distintas camadas de carvão e à interpretação da estrutura dos jazigos carboníferos. Para esse fim, são da maior importância os estudos detalhados dos moldes de fósseis encontrados no teto de muitas camadas carboníferas. E tendo sido feito um exame estatístico desses moldes, os resultados mostraram uma extraordinária dispersão entre os membros extremos de tais moldes.

Mas um grande número de formas intermediárias justificam estados de transição e ligam todos os fósseis dentro de uma comunidade homogénea. Os fósseis de qualquer outra camada, abaixo ou acima na estratigrafia, podem apresentar algumas formas similares, contudo as variações destes moldes podem não incluir todas as formas encontradas na camada anterior, e frequentemente apresentam outras que aí não tinham sido encontradas. Assim o Brass Vein da parte oeste do jazigo carbonífero da Gales do Sul é caracterizado por moldes específicos durante uma extensão de 100 km.

As camadas carboníferas são portanto primeiramente estudadas pelo modo indicado, numa área sem perturbações geológicas. Depois o critério paleontológico estabelecido é aplicado àquelas regiões do jazigo carbonífero aparentemente anormais, por causa de perturbações geológicas. As camadas de carvão são consequentemente relacionadas e muitos problemas de estrutura se podem resolver.

A solução de tais problemas muitas vezes depende primordialmente da identificação das camadas carboníferas. Esta identificação usando caracteres físicos, como a possança, o tipo de carvão, e a natureza do teto é frequentemente possível, quando as turfeiras originais eram de espessura e tipo aproximadamente uniformes. Contudo, em certas zonas dos jazigos carboníferos do Gales do Sul, realizaram-se movimentos consideráveis durante a formação da turfeira, donde resultaram variações na possança, a interrupção e espalhamento subsequente das camadas delgadas, e ainda a rápida variação da natureza da camada e do seu teto. Assim a espessura e tipo de rocha entre duas dadas camadas é susceptível de rápidas variações (fig. 1). Percebe-se pois porque a identificação de uma camada carbonífera pelas suas propriedades químicas se torne muito difícil nestas condições.

Mais, estas diferenças genéticas entre as características dos carvões, foram intensificadas por perturbações geológicas epigenéticas; em particular pelas falhas, que afectam a possança das camadas carboníferas e por vezes os seus tetos.

Pois foi em circunstâncias assim que os fósseis encontrados no teto de certas camadas forneceram considerável ajuda à sua correlação, e daí à resolução

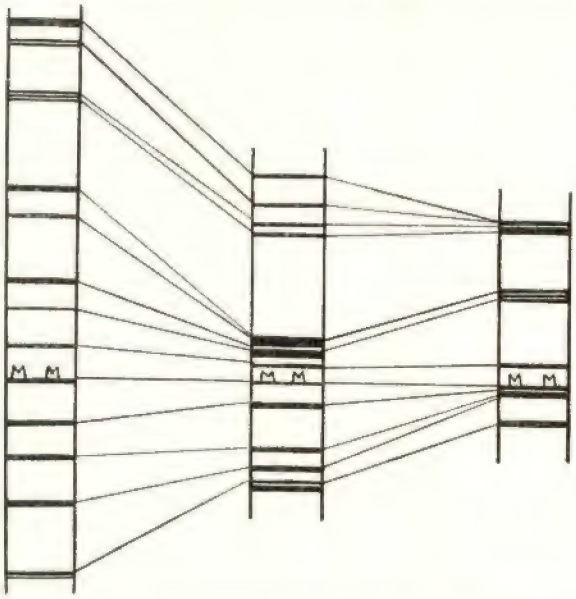


Fig. 1 — Ilustra a correlação entre três áreas do jazigo carbonífero de South Weles
Notar a dispersão e variação do possanço das camadas

de problemas estruturais. Um desses problemas é descrito a seguir e ilustrado pela fig. 2.

Nas zonas mais profundas do Coal Measure dentro da área do jazigo carbonífero de Gales do Sul a que temos feito referência, existem nove níveis (A-I), dos quais seis, A, B, C, F, G, H e I, fornecem camadas exploráveis. Os tetos de todas estas camadas contêm fósseis de plantas ou animais que as permitem identificar em toda esta área. A camada C, com uma fauna característica e a camada inexplorável D, com extratos marinhos no teto, são de particular interesse para estabelecer a estratigrafia.

O poço da mina interseptou e trabalhou, desde um certo nível superior, as camadas I, H, G e F.

A partir de um nível inferior supunha-se existirem duas camadas, A e B, exploráveis. Para o norte do poço as camadas superiores I, H, G e F apresentaram uma grande falha com um rejeito de 140 m. As camadas inferiores eram afectadas de modo semelhante por uma falha que se considerou a mesma que atravessara as camadas superiores.

Estudos detalhados provaram ainda que as camadas I, H, G e F tinham sido correctamente identificadas, e o mesmo acontecendo à camada A no piso seguinte.

Contudo, a camada explorada como sendo B apresentava a fauna característica da camada C, e era na realidade uma combinação de B e C para formarem uma única camada mais delgada. As medidas efectuadas entre as camadas (B + C) e F, provaram, na vizinhança do poço, que os estratos entre essas camadas eram menos espessos do que aquilo que seria para esperar mesmo contanto com as rápidas variações de possança tão frequentes na região.

Uma sondagem feita a partir de (B + C) e para cim encontrou D com a sua fauna marinha e ainda a camadas E e F a distâncias normais, acima de (B + C). Portanto a anormal possança dos estratos entre (B + C) e F indicada na secção do poço, era sem dúvida devida à repetição de estratos proveniente de falha inclinada. Esta falha que passa através do poço com uma inclinação muito pequena em relação às juntas de estratificação, não tinha sido observado durante a abertura do poço.

A interpretação de tão extensa falha mostrou uma repetição das camadas exploráveis (B + C) e F, G e H, em extensa área e também não ser a falha que atravessava as camadas inferiores a grande falha normal às camadas, como inicialmente tinha sido sugerido Esta tem um ligeiro rejeito.

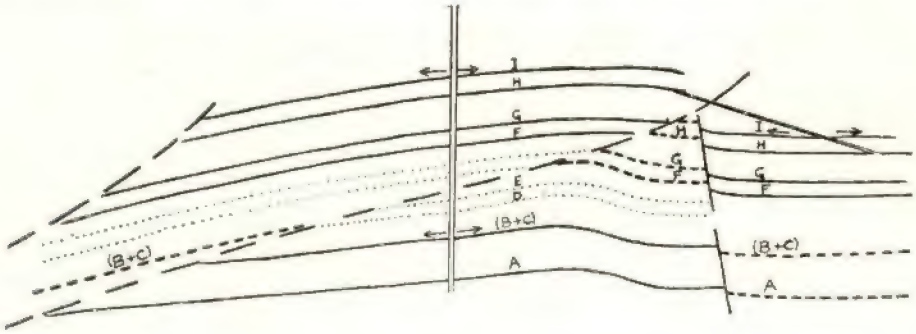


Fig. 2 — Estratigrafia e tectónica do desmonte descrito

— — — — Falha inclinada
——— Falha normal
..... Camadas inexploráveis
- - - - - - - Reservas acessíveis agora demonstradas
═══ Tunel de exploração
——→ Sentido do desmonte

Um novo nível de desmonte foi iniciado, para trabalhar as camadas inferiores, mais acima em qualquer outra parte da mina, quando a exploração prévia, tendo começado abaixo do plano da falha, não conseguie localisar estas camadas.

(Do Britsh Council)

BIBLIOTECA

Pedimos a todos os sócios da Associação, que possuem, requisitados, livros da nossa Biblioteca, o favor de os entregar o mais ràpidamente possível.

Depende da satisfação deste pedido, a reorganização mais rápida dos serviços da Biblioteca.

LIVROS

Todos os livros aqui indicados, são pertença da Biblioteca da A. E. I. S. T. e podem ser consultados a partir desta data.

C. D. 33:35

Economia e Finanças — Anais do Instituto Superior de Ciências Económicas e Financeiras

Universidade Técnica de Lisboa

4-947 — vol. XIII — págs. 1/320

C. D. 33:35

Economia e Finanças — Anais do Instituto Superior de Ciências Económicas e Financeiras

Universidade Técnica de Lisboa

4-947 — vol. XIV — págs. 1/300

C. D. 55

Boletim da Sociedade Geológica de Portugal

Sociedade Geológica de Portugal

4-947 — vol. VI — págs. 1/160 — fasc. 1 e

REVISTAS

	C. D.	
Aeroplane (The) . . . . . n.os 1865, 1866, 1867, 1868.	629.13	Inglaterra
Agros . . . . . n.os 5-6	631	Portugal
Aircraft Engineering . . . . . n.º 216.	629 13	Inglaterra
Análise . . . . . n.º 6.	51/54	Portugal
Arquitectura Portuguesa . . . . . n.º 141.	72	Portugal
Boletim da Comissão de Fiscalização das Águas de Lisboa . . . . . n.º 28	626	Portugal
Boletim Cultural da Guiné Portuguesa . . . . . n.º 5	7:8:9	Portugal
Boletim da Junta Nacional da Cortiça . . . . . n.º 99.	679	Portugal
Brotéria . . . . . fasc. 3.	1:2:3:7:8	Portugal
Cemento. . . . . n.º 156.	666.98	Espanha
Civil Engineering . . . . . n.º 489.	62/69	Inglaterra
Dyna . . . . . n.º 2.	62/69	Espanha
Engenheiro Westingouse (O) . . . . . n.º 2.	621.3	E. U. A.
Estudos . . . . . n.os 253, 254, 255.	1:2:3:7:8	Portugal

	C. D.	
Gazeta dos Caminhos de Ferro . . . . . n.º 1423.	385	Portugal
Gil Vicente . . . . . n.ºs 1 e 2.	1:2:3:7:8	Portugal
Indústria Portuguesa . . . . . n.º 226.	62/69	Portugal
Ingenieria (La) . . . . . n.º 865.	62	Argentina
Rumo . . . . . n.º 6.	1:2:3	Portugal
Revista de Artilharia . . . . . n.º 261.	623	Portugal
Revista de Camiños . . . . . n.ºs 11-12.	625	Chile
Revista das Obras Publicas . . . . . n.º 2784.	624/628	Espanha
Revista da Ordem dos Engenheiros . . . . . n.º 38.	62	Portugal
Seara Nova . . . . . n.ºs 1025, 1026, 1027.	3:7:81 (07)	Portugal

FICHEIRO

Sob esta rubrica, figuram só as fichas dos artigos que nos mereceram maior atenção e estão contidos nas revistas recebidas nesta biblioteca.

Esperamos muito em breve, poder pôr à disposição dos nossos leitores os serviços do ficheiro respeitante às revistas que possuímos.

Psicotecnia

C. D. 159.98

As operações em mecânica do pensamento — *Felippe dos Santos Reis.*

Revista do Club de Engenharia, 12-946, vol. xv, n.º 124, págs. 387/391.

Lança a ideia da creação de geometrias não mongeanas e constitue o artigo um capítulo da futura Física-Psíquica.

Elasticidade

C. D. 539.3/4

Solución gráfica para vigas continuas — *Ricardo H. With.*

Ingenieria (La), 4-946, n.º 858, págs. 249/255.

Sobre o conhecido problema da viga contínua, oferecemos o presente trabalho que, limitando-se a expor uma nova forma operativa para o cálculo, resultado de longa experiência do autor, revestirá seguramente interesse prático para os que devem encarar ocasionalmente o problema. Possue 4 gráficos.

Higiene

C. D. 613:614

Reconocimiento medico sistematico de los alunnos de la Escuela de Ingenieros de Camiños, Canales y Puertos — *J. R. Manzanete.*

Revista de Obras Públicas, 3-947, n.º 2783, págs. 122/127.

Motores térmicos

C. D. 621.4.539.3:621.34

Cálculos de las vibraciones naturales de torsion del eje de un grupo Diesel-electrico mixto — *Julio G. Lascano.*

Ingenieria (La), 6-946, n.º 2860, págs. 412/419.

Exemplo de aplicação a um grupo electrogéneo constituído por um motor Diesel de 6 cilindros a 4 tempos de simples efeito, por um alternador, um gerador de corrente contínua e por uma excitatriz.

Fundição

C. D. 621.74

Influencia de las restricciones que impone la guerra mundial, en el processo de la segunda fusion del hierro — *Jaime Viñallonga Garriga.*

Técnica Metalúrgica, 1-947, n.º 16, págs. 23/38.

Estudio, por medio de cuatro diferentes procedimientos: Teorico, Estadistico, Experimental por balance termico, y por los indices deducidos de las analisis de los combustibles, de la produccion dél cubilote en las anormales circunstancias actuales.

Tratamentos térmicos

C. D. 621.78

Tratamiento termico de los aceros rápidos — *Morris Cohen y Paul Gordon* — (De «The Iron Age», Fever.-Março 1946).

Tecnica Metalurgica, 1-947, n.° 16, págs. 41/46.

Construção Civil

C. D. 624.014

Nouveau chevalement au puites Marie-José des charbonnages de Maurage — *J. F. Van der Maegben.*

Ossature Metalique, 1-947, n.° 1, págs. 11/21.

Programa; condições gerais; equipamento eléctrico; qualidade dos aços; condições de recepção; montagem.

C. D. 624.014.001

Recherches experimentales sur modéles de l'ossature du Palais des Soviets (Moscou) — *N. V. Koruoukhov; P. M. Varkak; V. G. Muduovsky.*

Ossature Metallique, 2-947, n.° 2, págs. 85/95.

Introdução; Disposição geral; programa de trabalhos; descrição do modelo; cálculo das cargas críticas; ensaios de modelos; resultado dos ensaios em outros modelos; conclusões.

Variadas fotografias e diagramas obtidos nos ensaios.

C. D. 624.04

Sintesis del procedimiento original para el calculo de estructuras reticulares — *Miguel Garcia Ortega.*

Revista de Obras Públicas, 1-947, n.° 2781, págs. 9/24.

Lições explicadas na «Escuela de Camiños».

C. D. 624.04.012.4

Determinação de tensões no betão pelo método do tensómetro fotoelástico — *António de Sousa Coutinho.*

1.ª Parte — Estudo do método.

2.ª Parte — Aplicações.

Determinações experimentais com variadas fotografias dos aparelhos utilizados assim como vários diagramas.

C. D. 624.012.3

Cálculo dum silo rectangular de betão armado — *Eduardo Cansado Carvalho.*

Técnica, 12-946, n.° 169, págs. 59/74.

1-947, n.° 170, págs. 123/142.

1-947, n.° 170, págs. 75/86.

2-947, n.° 171, págs. 147/155.

C. D. 624.012.3

Silos de hormigon armado para materiales de gran densidad — *Enrique Rodon.*

Cemento-Hormigon, vol. XII, n.° 146, págs. 140/144

6-946, vol. XII, n.° 147, págs. 162/167.

C. D. 624.012.3

Un nuevo tipo de traviesa en hormigon armado — *José Ferrer; Vidal Llauradó.*

Cemento-Hormigon, 8-1946, vol. XII, n.° 149, págs. 217/226.

C. D. 624.1

Los pantanos de entrepeños y Buendia, y su tunel de enlace — *Benito Jimenez Aparicio.*

Revista de Obras Públicas, 2-947, n.° 2782, págs. 57/67.

C. D. 624.2

El puente de Luzancy — *Eduardo Torroja Miret.*

Revista Obras Públicas, 3-947, n.° 2783, págs. 101/106.

Una verdadera leccion sobre lo que puede obtener-se de los tecnicos des putesado y la prefabricacion en las obras de hormigon armado.

Ver referência mais extensa na revista «Travaux», n.° 142.

C. D. 624.21

Construction d'un pont provisoire sur la Meuse à Liége — *A. Hormidas.*

Ossature Metallique, 2-947, n.° 2, págs. 67/73.

Vias de Comunicação

C. D. 625.1:38

Pelas altas regiões ferroviárias no aeropago de Bruxelas — *Américo Vieira Castro.*

Gazeta dos Caminhos de Ferro, 3-949, n.° 1422 págs. 231/234.

Observações críticas à electrificação dos caminhos de ferro portugueses. Segundo opinião expressa aqui tal medida só beneficiará os produtores nacionais de energia eléctrica e as fábricas de material eléctrico.

C. D. 625.2 (493)

Nouvelles tendances dans la construction du material roulant en Belgique — *J. Lourtie.*

Ossature Metalique, 1-947, n.° 1, págs. 22/34.

História; prescrições e especificações técnicas; vagões metálicos; dispositivos de segurança; bogies; locomótivas a vapor; tenders; electrificação.

C. D. 625.232 (.42)

Nouvelles voitures-frein de 3.ª class de construction mixte du «London Midland & Scottish Railway» — *Anónimo.*

B. du Congress des Chaminos de Fer, 11-946, vol. XXIII, n.° 8, págs. 431/434.

C. D. 625.7 (82)

Camiño de acesso al aeropuerto nacional y primera arteria radial de Buenos Aires (Memoria descriptiva) — *Anónimo.*

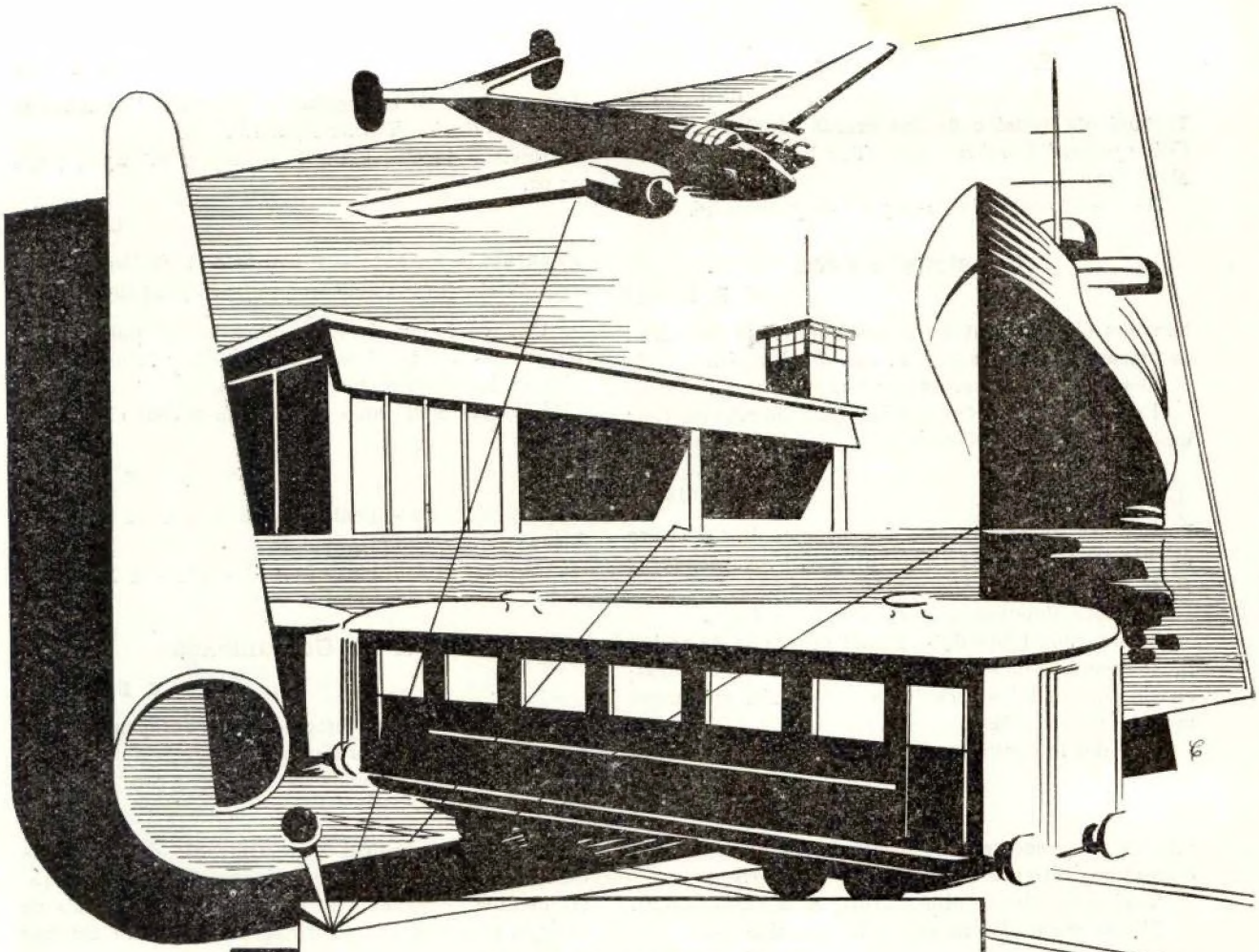
Ingenieria (La), 9-946, n.° 863, págs. 601/607.

C. D. 625.7:1

Ábacos para terraplanagem — *Benjawim B. Fraenkel.*

R. Club de Engenharia, 12-946, vol. XV, págs. 381/383.

Variados ábacos para cálculo de terraplanagem.



MADEIRAS

por excelência especiais para contra-placados próprios para a construção de aviões e infraestruturas, adornos interiores de carruagens de caminhos de ferro, construções navais e mobiliário.

DUARTE & REIS, L.DA

Importadores e Exportadores

telegramas BISSILON

RUA DA PALMA, 40, 2.º
LISBOA

telefone 30179

C. D. 625.7:1

Plantillas planimétricas para perfiles transversales y abacos auxilares para la cubicacion de movimiento de tierras en proyectos de carreteras y ferrocarriles — *J. António López Jamar.*

R. Obras Públicas, 4-946, n.º 2772, págs. 179/186.

Apresenta o autor, justificando-as devidamente, uma série de gráficos e ábacos que se propõe editar, e que simplificarão notàvelmente as operações de cubicação de movimentos de terras.

Construção hidráulica

C. D. 626:621.13

El aprovechamiento hidroelectrico del pantano del Tronco de Beas — *José Luis Mendoza.*

R. Obras Publicas. 1-947, n.º 2781, págs. 1/8.

Características do aproveitamento hidroeléctrico de Tronco. Vários perfis da obra.

C. D. 627.8

Datos complementarios sobre las presas cilindricas e de tambor (formulas para un anteproyecto) — *José M. Palá Catarineu.*

R. Obras Publicas, 2-947, n.º 2782, págs. 72/75.

Transportes

C D. 629.1

Razones que inducen al estudio de la coordinacion de transportes — *F. E. B.*

Revista de Caminos, 8-949, n.ºs 7-8, págs. 176-177.

Considerações de ordem geral sobre o problema de coordenação de transportes.

C. D. 629.13

Tecnica aerodinamica del viento como fuerza motriz — *Etanilas Makowieski.*

Dyna, 4-946, n.º 4, págs. 163/167.
5-946, n.º 5, págs. 217.
6-946, n.º 6, págs. 287.

C. D. 629.13

Proteccion de los materiales metalicos en la industria aeronautica — *Emilio Lecuona y García-Puelles.*

Tecnica Metalurgica, 12-946, n.º 15, págs. 401/412.

C. D. 629.13

Assisted take-off in Relation to transport Aeroplanes — *L. I. Th. Huls.*

Aircraft Engineering, 12-946, vol. XVIII, n.º 214, págs. 402/407.

Comércio e Transportes

C. D. 656.222.5 (.73)

Developement des services de trains à voyageurs aux États-Unis — *Anónimo.*

B. du Congres des Chamins de Fer, 11-946, vol. XXIII, n.º 8, págs. 429/431.

Indústrias de Aquecimento

C D. 662.6:668

Hidrocarburos aromáticos extraídos del petroleo (El proceso catarole) — *Anónimo.*

Ingenieria (La), 9-946, n.º 863, págs. 631/633.

Cedido por cortezia da «Petrocarbon Ltd.».

C. D. 662.741.355

Instablations Sulzer pour le refroidissement sec du coke — *W. Herche.*

Revue Sulzer' 9-946, n.º 3, págs. 1/18.

— Rendement des installations de refroidissement sec
— Les trois types fondamentaux d'istallations pour le refroidissement sec du coke
— Exemple d'uma installation moderne pour le refroidissement sec du coke.

C. D. 662.998:620.1

O isolamento silicone provsdo em ensaios — *T. A. Kauppi; George Grant; G. L. Moses; R. F. Horrell.*

Engenheiro Westinghouse, 2-947, n.º 1, págs. 8/14.

C. D. 662.998.3:679

Aplicação da regra dos 10 graus ao isolamento sintético — *G. L. Moses.*

Engenheiro Westinghouse, 2-947, n.º 1, págs. 16/17.

Indústrias de Alimentação

C. D. 664.8.037

Conservação de víveres por meio de processos de congelação rápida com refrigeração a temperaturas muito baixas - *G. Eichelberg.*

Suissa Tecnica, 12-946, n.º 3, págs. 24/32.

Cimentos

C. D. 66.691.54

Produção combinada de cemento y acido sulfurico — *V. Charrin.*

Cemento-Hormigon, 1-947, vol. XIII, n.º 154, págs. 4/5.

C. D. 666.8/9

Retardadores y aceleradores en relacion con el endurecimiento de los aglomerantes hidraulicos – *Anónimo.*

Cemento-Hormigon, 1-947, vol. XIII, n.º 154, págs. 8/9.

C. D. 666.9

El horno de Vicat — *Felix Gonzalez.*

Cemento-Hormigon, 2-947, n.º 155, págs. 30/32.

C. D. 666.9

Inyecciones de cal los procedimientos taponadores — *F. Derqui.*

Dyna, 1-947, n.º 1, págs. 18/20.

El retaque en las inyecciones de cemento.

PICKETT & ECKEL

Réguas de Cálculo «DECI. POINT»

A Régua de Cálculo «DECI. POINT» oferece-vos:

1 — **Colocação mecânica da vírgula.**

2 — **Nova disposição das escalas.** — As escalas D e C, inversos, senos, tangentes, senos e tangentes, logarítmos, raíses quadradas e cúbicas, encontram-se na mesma face da régua, permitindo leituras simultâneas. Na outra face encontram-se as escalas destinadas à colocação das vírgulas no resultado.

3 — **Grande precisão.** — Escalas de $\sqrt{}$ e sen. com o dobro do comprimento. Escalas de $\sqrt{}$ e Tg com o triplo do comprimento.

4 — **Escalas indeformáveis.** — A construção em *Dow* metal coberto com plástico, garante a não deformação das escalas com o tempo, temperatura e humidade.

5 — **Fácil ajuste da reglette.** — Devido à construção metálica com tolerâncias de aparelho de precisão, a reglette e o cursor param sem tentativas no ponto desejado.

Dimensões: 305 × 51 × 4,5 mm

Estojo em «Geon»

A' venda nas principais casas da especialidade

PREÇO 570$00

"LASICO" LOS ANGELES

INSTRUMENTOS DE DESENHO
PLANÍMETROS — INTEGRADORES

O compasso «LASICO» com ajustamento por parafuso central e o novo sistema de alongas, permite o traçado de circunferências desde pequenos diâmetros até 80 cm, com precisão e facilidade de ajustamento

REPRESENTANTES:

TERMO-MECANICA

LIMITADA

PRAÇA JOSÉ FONTANA, 12-2.º **LISBOA**